

INTEGRACION DE UN SIG Y UN MODELADOR HIDRAULICO APLICADO AL
DISEÑO DE ALCANTARILLADO

LAURA VICTORIA PINEDA ÁLVAREZ

LUZ NATALIA LOPEZ GOEZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SECCIONAL MEDELLÍN
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

MEDELLIN

2014

INTEGRACION DE UN SIG Y UN MODELADOR HIDRAULICO APLICADO AL
DISEÑO DE ALCANTARILLADO

LAURA VICTORIA PINEDA ÁLVAREZ

LUZ NATALIA LOPEZ GOEZ

Proyecto presentado para optar al título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Asesor

Julio Cesar Arias Becerra

Ingeniero de Sistemas, Especialista en Ingeniería de Software

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SECCIONAL MEDELLÍN

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

MEDELLIN

2014

CONTENIDO

1. JUSTIFICACIÓN.....	5
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
3. OBJETIVOS.....	10
3.1. GENERAL	10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4. ALCANCE DEL PROYECTO.....	11
5. MARCO REFERENCIAL.....	12
5.1. INTEGRACIÓN DE SISTEMAS.....	12
5.2. SOFTWARE SIG LIBRE	14
5.2.1. GvSIG.....	17
5.2.2. OpenJUMP	18
5.2.3. Kosmo	18
5.2.4. SAGA	19
5.2.5. SEXTANTE	19
5.2.6. uDIG	20
5.2.7. QGIS	20
5.2.8. GRASS GIS.....	21
5.3. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN.....	22
5.3.1. SQL	22
5.3.2. JAVA	23
5.3.3. PYTHON	23
5.3.4. JAVASCRIPT	23
5.3.5. PHP	23
5.3.6. AVENUE / AML / VBA PARA ARCOBJECTS	23
5.4. SOFTWARE DE MODELACIÓN HIDRAULICA.....	24
5.4.1 HYDRA.....	25

5.4.2. APyS (Alcantarillado Pluvial y Sanitario)	25
5.4.3. CIVIL ADS (Módulo para análisis y diseño de redes de drenaje sanitario y pluvial urbano)	26
5.4.4 ALCONW	26
5.4.5 SEWERCAD.....	26
5.4.6 SEWERGEMS.....	27
5.4.7.EPASWMM	27
6. ESTADO DEL ARTE.....	29
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	36
8. RESULTADOS.....	53
9. CONCLUSIONES	55
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	56
LISTA DE TABLAS	60
LISTA DE FIGURAS	61
LISTA DE ANEXOS.....	62
GLOSARIO SIG	63

1. JUSTIFICACIÓN

EPM es una empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios, organizada bajo la modalidad de empresa industrial y comercial del estado, de propiedad del municipio de Medellín. Es prestadora de servicios de energía eléctrica, gas por red, agua y saneamiento. Sus principales fortalezas son la larga trayectoria y experiencia, la posición financiera, transparencia y capacidad técnica, enmarcado en su enfoque principal de responsabilidad social y ambiental, y la búsqueda de sostenibilidad (epm@institucional,2013).

EPM se encarga de gestionar el recurso hídrico de Medellín y su área metropolitana para la satisfacción de necesidades básicas, por medio de la captación, tratamiento y distribución de agua potable y posteriormente, la recolección, tratamiento y disposición de las aguas servidas.

El cubrimiento de los servicios de aguas en el Valle de Aburrá es de casi el 100%, atendiendo 10 municipios, con una infraestructura de 11 plantas de potabilización, 3.580 kilómetros de redes de acueducto, 4.367 kilómetros de redes de alcantarillado, una planta de tratamiento de aguas residuales en operación y otra en fase constructiva (epm@aguas, 2012).

EPM aguas ha llevado su modelo de operación a otros municipios de Colombia por medio de la adquisición de sus sistemas de aguas, integrándolas a su grupo empresarial como filiales. A continuación se muestra un resumen de la cobertura de EPM Aguas.

Tabla 1 Descripción la cobertura e impacto de EPM Aguas en la región.

Ítem	Municipios	Ítem	Filiales
01	Medellín	08	Girardota

Ítem	Municipios	Ítem	Filiales
02	Bello	09	Caldas
03	Envigado	10	Barbosa
04	Itagüí	011	Urabá
05	La Estrella	012	Occidente
06	Sabaneta	013	Quibdó
07	Copacabana	014	Oriente Antioqueño

Fuente: epm@aguas, 2012.

La Vicepresidencia de Proyectos de Infraestructura está encargada de la contratación de consultorías de diseño de infraestructura de aguas, correspondientes a las fases de distribución de agua potable y recolección de aguas residuales; y la ejecución de dichos diseños, por medio de la contratación de obras civiles. Por lo tanto, es el área encargada de la inversión de los recursos, en las obras más inmediatas para la comunidad. La Unidad Proyectos Centralizados, perteneciente a esta Vicepresidencia, tiene a su cargo, los proyectos de expansión de los servicios hacia los municipios de Antioquia ubicados en el Valle de San Nicolás, es decir, al oriente próximo de la ciudad de Medellín (Envigado en la zona del Alto de las Palmas, El Retiro y Rionegro), zonas hacia las cuales se está expandiendo el área metropolitana de la ciudad.

Por lo anterior, en esta Vicepresidencia es donde la inversión es más fuerte en EPM, y por esto se deben planear estrategias y aplicar métodos de optimización de trabajo y recursos.

El desarrollo de este proyecto permite proveer a los profesionales encargados de los proyectos de una herramienta especializada, con el objeto de fortalecer el

desarrollo de proyectos, enmarcado dentro de las dos etapas claves de los objetivos del área como son el diseño y la ejecución de infraestructura de aguas.

La automatización del proceso de diseño de sistemas de alcantarillado por medio de la integración de un SIG con un motor hidráulico, supone un gran adelanto en la optimización de recursos en el proceso de desarrollar infraestructura.

EPM siempre ha intentado procurar los medios para que los consultores y contratistas tengan herramientas homologadas (hojas de cálculos disponibles en su página de internet para consultores y contratistas, normas y especificaciones, entre otras) y a su alcance; por eso se trata de software libre independiente de los que cuenta EPM.

El SIG aporta la parte de las relaciones espaciales entre entidades y la base de datos de la infraestructura de la red en objetos geográficos; el modelador aporta el funcionamiento interno del sistema hidráulico, el comportamiento del agua en el tiempo y según las características del sistema de drenaje.

El desarrollo de la aplicación apunta a que pueda ser utilizada por los diferentes tipos de ejecutores del proyecto: consultores, contratistas ó funcionarios de EPM Aguas, y regido directamente según las normas de diseño y construcción implementadas por EPM.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

EPM como empresa prestadora de servicios públicos y administradora de la infraestructura para la prestación del servicio de alcantarillado, todo el tiempo desarrolla proyectos para la modernización, reposición de esta y expansión de su cobertura, por medio de contratos de consultoría de diseño de acueducto y alcantarillado.

Los diseños de acueducto se han venido haciendo desde hace varios años, en software especializado de modelación hidráulica de abastecimiento como es el WaterCAD que luego paso a ser WaterGEMS. Los diseños de alcantarillado se han hecho tradicionalmente en hojas de cálculo de Excel y representados gráficamente en un CAD. Recientemente se ha tratado de migrar hacia los modeladores hidráulicos para la simulación de los diseños del sistema de drenaje, tal y como se viene manejando desde hace algunos años con el sistema de acueducto.

Adicionalmente, EPM migró su base de datos de activos a un sistema de información geográfica llamado SIGMA, es un desarrollo conjunto con el municipio de Medellín y otras entidades del Valle de Aburra.

Según lo anterior, hablando del acueducto, específicamente, tanto la base de datos geográfica como la del modelador hidráulico, son entidades independientes, que no tienen puntos en común de relación y que no conversan en su funcionamiento técnico. Es decir, se tiene la información de cada elemento de la infraestructura de la empresa de forma duplicada y la actualización de un sistema a otro se hace de manera manual.

Actualmente se está llevando a cabo una consultoría de documentación del sistema de drenaje hacia los modelos hidráulicos, utilizando el software SewerGEMS. Sin embargo, la metodología que se está empleando es la réplica de lo que se ha trabajado con la modelación del acueducto, es decir, los modelos

funcionarán aisladamente, cada cuenca como un sistema independiente de las otras y de la base de datos geográfica central.

Se ha observado que el flujo de información entre el SIG y el modelador se hace mediante metodologías manuales, que son dispendiosas, consumen gran cantidad de tiempo y pueden llevar a errores humanos. Debido a esto, se ha pensado en desarrollar una metodología de integración de los sistemas que potencialice los beneficios de cada uno y le de valor agregado a estas herramientas.

Inicialmente se consideró utilizar software comerciales, sin embargo, viendo la diversidad de software libres que existen actualmente y la facilidad que se puede brindar a los grupos de interés desvinculados de la empresa, no es posible exigir estos mismos software comerciales y pueden elegir trabajar en programas libres, por lo que se encamina este proyecto hacia el software libre.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Implementar un modelo de integración entre un sistema de simulación hidráulico de alcantarillado y un sistema de información geográfica, utilizando software libre.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar el software de uso libre más apropiados para el desarrollo de la herramienta de integración.
- b) Identificar los atributos de diseño necesarios para hacer compatible el software simulador y la base de datos geográfica.
- c) Construir los procedimientos para integrar los atributos técnicos en cada elemento del sistema de alcantarillado, entre la base de datos y el simulador.
- d) Probar los procedimientos con datos reales y simular un sistema de alcantarillado en el modelador hidráulico.

4. ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto llegará hasta la integración de una base de datos geográfica y un simulador hidráulico, de modo que se pueda hacer lo siguiente:

- Cargar información topográfica, traída de campo en formato SHP en una base de datos geográfica.
- Construir los archivos de entrada de datos al simulador hidráulico (EPASWMM), con la información cargada a la base de datos, por medio de un procedimiento almacenado.
- Realizar la validación de los resultados hidráulicos, mediante una simulación hidráulica funcional y actualizar el archivo de EPASWMM.
- Cargar la información que fue actualizada en el simulador hidráulico, a la base de datos de manera también automatizada, por medio de otro ejecutable.

Este proyecto será la primera fase de automatización del diseño de redes. Se espera que a futuro se puedan desarrollar diseños más completos y detallados que incluyan lo siguiente:

- Calculo de caudales a partir de atributos geográficos cargados en múltiples campos (SHP o bases de datos) a partir de los insumos de fuentes de información como urbanizadores y departamentos de planeación municipales.
- Optimización de la planeación de la infraestructura y el cubrimiento a partir del análisis espacial de los territorios.
- Desarrollo de aplicaciones de integración más fuertes.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. INTEGRACIÓN DE SISTEMAS

La integración de los SIG y la modelación hidráulica ha sido definida como el proceso en el cual, los elementos de la base de datos SIG (por lo general continuamente actualizados) están sincronizados con el modelo hidráulico [1]. La integración está enfocada en mantener una actualización permanente de los modelos con la información de campo ingresada al SIG, lo que representa [1, 4]:

1. Reducción de recursos, físicos y humanos.
2. Incremento en la ejecución de los proyectos, mediante la agilización de la entrada de datos.
3. Confiabilidad, debido a que se analiza un modelo actualizado.
4. Mejor interpretación de los resultados de los modelos.

Sin embargo, los SIG y los sistemas de modelación no han sido completamente integrados, porque se han trabajado como campos de conocimiento separados. El esfuerzo del desarrollo de los SIG se ha dirigido hacia elementos espaciales y de la infraestructura georreferenciada; por otro lado, el esfuerzo del desarrollo de los sistemas de modelación se han dirigido a las condiciones de funcionamiento, la conectividad de los elementos y los controles operacionales. Estudios precedentes [7, 9] señalan un conjunto de dificultades a superar, para realizar la integración:

- a) Los SIG orientados al espacio no poseen la característica para representar de alguna forma el dominio temporal. Aunque una forma de evitar esta limitación es realizando los cálculos de forma independiente del modelo en un sistema diferente al relacionado con el SIG. Los parámetros iniciales pueden ingresarse en el SIG usando las capas de información disponible, los resultados utilizados como entrada para los modelos y los resultados enviados de nuevo al SIG. Un objetivo

de la integración es la combinación de los sistemas de simulación temporales con los SIG.

b) Los SIG son sistemas que tienden a ser monolíticos, y por lo tanto costosos para combinar con otros sistemas, así como los sistemas de simulación temporales apoyan la simulación de estática y, en particular, las dependencias dinámicas.

c) Los elementos en ambos esquemas no se encuentran uno a uno; un modelo hidráulico puede poseer redes simplificadas, mientras que el SIG se encarga de detallar todos los elementos con sus características físicas; o en el SIG no se encuentran detalles hidráulicos de las estructuras que en el modelo son imprescindibles.

d) La información disponible entre los sistemas, porque lo que es un dato representativo para el inventario de infraestructura SIG, puede no serlo en la modelación hidráulica, por lo que se podría requerir el manejo de una gran cantidad de información por elemento.

e) Diferencias de terminología empleada en ambos sistemas.

Teniendo en cuenta que en EPM se tiene disponible la información en un SIG y se cuenta con los modelos hidráulicos detallados y recientemente calibrados en un modelador, la utilidad de este software puede maximizarse, y simplificarse significativamente las actualizaciones de estos últimos, aumentando las ventajas operacionales disponibles y eliminando la actualización manual de ambos esquemas.

La integración de los sistemas puede producirse en tres maneras [1, 2, 4]:

a) Acoplamiento débil, enlaza un SIG con un sistema de moldeamiento a través de programas de comunicación o puentes (usualmente herramientas de script con librerías asociadas), en las cuales el modelo y el SIG son ejecutados por separado y simplemente comparten información a través del puente.

- b) Acoplamiento fuerte, combina el SIG y el modelo con dos componentes: una estructura común y una base de datos; para comunicarse directamente entre sí.
- c) Totalmente integrado, el modelo es incorporado como un componente más en el SIG. La información del SIG está disponible inmediatamente para ser corrida en el modelador hidráulico y esta puede ser migrada nuevamente al SIG. En un esquema sostenible, el proceso puede iniciarse en cualquiera de los dos sistemas.

La integración puede realizarse en distintos niveles, llegando a obtener un modelo de acueducto como insumo para el cálculo en el modelador de alcantarillado, y éste a su vez, con información de otras capas del SIG, modelar inundaciones y desbordamientos; todo en un mismo espacio modelado en el SIG [1]. Sin embargo, la construcción de un único modelo que incluya todos los procesos del agua no es factible, y la integración de diferentes modelos requiere manipulación del código fuente. La integración puede hacerse desde un SIG, si los modeladores incluyen información espacial en su estructura [2].

5.2. SOFTWARE SIG LIBRE

En los últimos años se ha incrementado de manera exponencial el uso de los software libres, esto también se ha ido dando progresivamente en las herramientas SIG, los usuarios han visto esta alternativa debido a los costos de los software particulares, además de poder contar con el código fuente en el caso de los software *open source*, que se puede modificar a las necesidades requeridas por cada uno, lo cual en el software particular no es posible. (Ingegraf@inicio, 2013)

Sin embargo, el mayor uso del software particular frente al de código libre se debe a diversos factores, entre los cuales se pueden mencionar las estrategias comerciales, el sistema de soporte al usuario, la publicidad que tiene el software particular y el fácil acceso a capacitación certificada, por parte de instituciones o

del mismo fabricante. Es por ello que los profesionales se ven orientados a aprender a usar este tipo de software (Ingegraf@inicio, 2013). Factores como la piratería, hacen también, que el uso de software particular sea ampliamente extendido.

En los últimos 10 años se han desarrollado diferentes software que se centran en los Sistemas de Información Geográfica de código libre y abierto. Del 2007 hasta ahora han disminuido debido a los cambios en los tipos de usuario del software y a los cambios en el mercado en los últimos 5 años. Específicamente, Quantum GIS, PostGIS y OpenLayers, han sido capaces de atraer a usuarios y desarrolladores que han aportado a la funcionalidad del software aumentando su atractivo para los nuevos usuarios de software libre [6].

Hay que hacer distinción entre "software libre" y "software comercial", ya que el "software libre", permite libertades de uso, modificación y redistribución para el público, y el "software comercial", no permite estas libertades. Además, el "software libre" brinda la posibilidad de usarlo para cualquier propósito ya sea para la educación, negocios, para estudiar y adaptar el software a sus propias necesidades, para comercializarlo, o para mejorarlo.

Steiniger y otro han identificado siete diferentes tipos de Software GIS, como son el GIS de Escritorio, Sistemas de gestión de bases de datos espaciales, Servidor de mapas Web, Servidor GIS, Clientes Web GIS, Móvil GIS, Bibliotecas y extensiones. Adicionalmente incluyen el software de sensores remotos que es considerado una forma especial de los GIS de escritorio, cada uno con características y funcionalidad diferente [6].

Dentro de la categoría de los GIS de escritorio hay gran cantidad de software con diferentes enfoques en su funcionalidad, sin embargo, evaluaciones recientes encuentran ocho proyectos de GIS de escritorio bien desarrollados como son GRASS GIS, Quantum GIS, ILWIS / ILWIS, uDig, OpenJUMP, MapWindow GIS y gvSIG [6].

Para el uso de los SIG libres se debe analizar las bibliotecas de estos proyectos de software, que son las que aportan la funcionalidad para ser utilizadas por otras aplicaciones, así como la interfaz gráfica o de línea de comandos de usuario que permite el uso directo de las funciones. Algunos pueden incluir métodos que realizan proyecciones cartográficas, permiten la lectura y la escritura de diferentes formatos de datos, o proporcionan algoritmos de análisis geográficos, etc. Estas bibliotecas solo se pueden utilizar para el acoplamiento a una aplicación host, es decir, un SIG de escritorio o un servidor SIG. De las más utilizadas son raster y vector, dos bibliotecas para importaciones y conversiones de diferentes tipos de datos geográficos, escritas en C o en C++ y desarrolladas por el mismo proyecto de software, además varios SIG gratuitos o protegidos utilizan estas dos bibliotecas que con sus enlaces de Python juegan un papel importante en el desarrollo de software libre. [6]

Además, de las bibliotecas debemos conocer las extensiones SIG que también agregan funcionalidad directamente a un software en particular. Así como ESRI y su extensión de Análisis Espacial, que añade funciones para el análisis (raster) para el producto de ArcGIS de escritorio. Los plugins actúan de la misma forma, y por lo general agregan un conjunto limitado de posibilidades, como un método de análisis raster particular, mientras que una extensión puede añadir un conjunto más amplio de nuevas habilidades como el conjunto de herramientas para análisis raster. Debido a esto, en otros software una extensión se considera una colección de plugins, aunque en la literatura no se ha encontrado una diferencia entre complemento y extensión. [6].

Este tipo de diferencias y herramientas es necesario tenerlo en cuenta en el momento de pensar en aplicaciones nuevas a desarrollar para analizar la compatibilidad y funcionalidad con los software a usar. Ya que con el uso de los plugins como mecanismo de interfaz y con las funciones que otorga las bibliotecas deben acceder al código fuente pero no llamar a las funciones de la aplicación principal.

Casi todos los SIG de escritorio, tales como Quantum GIS, uDig, OpenJUMP, gvSIG, etc. ofrecen plugins mecanismos y proporcionar listas de los plugins, esto permite la personalización de los SIG de escritorio y servidores de mapas web con el lenguaje Python que se ha generalizado en los últimos años, sin embargo, dicho lenguaje en particular, en forma de un script o plugins, sólo funciona con el software que se ha programado para él y no a través de diferentes programas informáticos. [6]

No se puede establecer con claridad si los nuevos proyectos que aparezcan sean de éxito, creado por un grupo con intereses similares, así como el QGIS que ha sido creado por un grupo de voluntarios siguiendo sus objetivos durante años, son condiciones difíciles de encontrar para seguir creando este tipo de proyectos de software, a no ser que sean motivados por la financiación de instituciones gubernamentales o universidades [6].

A continuación se exponen los software libre más conocidos, véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 2 Software SIG libres más conocidos.

Ítem	Software
1	gvSIG
2	JUMP
3	Kosmo
4	SAGA
5	SEXTANTE,
6	Quantum GIS
7	uDIG,
8	Grass-GIS

5.2.1. GvSIG

gvSIG Desktop es un SIG libre para el manejo de información geográfica. Por medio de esta plataforma se puede acceder a los formatos más comunes, tanto

vectoriales como raster, y tanto locales como remotos, integra estándares OGC, y cuenta con un amplio número de herramientas para trabajar con información geográfica (consulta, creación de mapas, geoprocésamiento, redes, etc.) (gvsig@productos,2013). Funciona en distintas plataformas hardware / software, Linux, Windows y Mac OS. El lenguaje de programación es Java. Es ampliable con nuevas funcionalidades mediante el desarrollo de extensiones, permitiendo una mejora continua de la aplicación, así como el desarrollo de soluciones a medida. Es de código abierto: licencia GNU/GPL, lo que permite su libre uso, distribución, estudio y mejora. (gvsig@inicio,2013).

5.2.2. OpenJUMP

OpenJUMP es un SIG de código abierto, escrito en el lenguaje de programación Java FreeBSD. Es desarrollado y mantenido por un grupo de voluntarios de todo el mundo. OpenJUMP comenzó como GIS JUMP diseñado por Vivid Solutions (Araya, Arcis, et al., 2008). Es principalmente una herramienta vectorial. Es posible conectarse a servidores de cartografía WMS y existen plugins para numerosos tipos de formatos, tanto de archivo como de servidores. Cuenta con opciones de herramientas de edición que dispone para modificar datos vectoriales, así como herramientas básicas de geoprocésamiento (zonas de influencia, uniones, etc). Carece de opciones de creación de layouts y de georreferenciación (Ingegraf@inicio, 2013, openjump@inicio, 2013).

5.2.3. Kosmo

El proyecto Kosmo es la primera Plataforma SIG Libre Corporativa, distribuida bajo licencia GNU/GPL. La última versión disponible es la 3.0 RC1. Kosmo ha sido desarrollado por la empresa SAIG S.L. (Sistemas Abiertos de Información Geográfica, S.L.) y está distribuido bajo licencia GNU-GPL. Tiene implementado:

1. Kosmo Server: Servidor de Cartografía raster y vectorial

2. Kosmo Desktop: SIG de escritorio con potente capacidad de consulta, edición y análisis
3. Kosmo Cliente Ligero: Navegador cartográfico para conexión con Servicios basados en estándares OGC
4. Kosmo Móvil: Software SIG para dispositivos móviles.

Su diseño y arquitectura están basados en la gestión y análisis de la información territorial a través de Bases de Datos Espaciales. Una de sus características principales es la posibilidad de ampliar su funcionalidad basándose en extensiones. (opengis@index,2013)

5.2.4. SAGA

SAGA (Sistema de Análisis Geocientífico Automatizado) tiene su origen en el programa de tratamiento de imágenes llamado DiGeM y es por este motivo que este software está enfocado principalmente al tratamiento de datos raster.

Está desarrollado en lenguaje C++ y liberado con GNU GPL (interfaz gráfica) y LGPL (interfaz de programación). Puede realizar potentes análisis ya que cuenta con más de un centenar de módulos programados específicamente para ello y dispone de funcionalidades 3D. Por el contrario, ni está basado en estándares del OGC, ni soporta datos de servidores, ni tampoco algunas funcionalidades vectoriales básicas. SAGA trabaja bajo Windows y Linux y su código es abierto (Ingegraf@inicio, 2013).

5.2.5. SEXTANTE

El Software de la Universidad de Extremadura SEXTANTE, desarrollado sobre la plataforma SAGA, añade al SIG comentado anteriormente sobretodo herramientas de análisis raster en el ámbito de análisis forestal e hídrico.

SEXTANTE es un software libre y es distribuido bajo licenciamiento GPL. Igualmente, en 2007 se liberó una primera versión de SEXTANTE sobre gvSIG

cuyo conjunto de extensiones pretende dotar a gvSIG de capacidades de análisis geográfico tanto raster como vectorial. Asimismo, su última actualización está disponible exclusivamente como extensiones de SEXTANTE sobre gvSIG (Ingegraf@inicio, 2013, Sextantegis@2013)

5.2.6. uDIG

uDIG (User Friendly Desktop Internet GIS) tiene su origen en la empresa Refractions. Se trata de un proyecto open source que incluye apoyo para datos locales, bases de datos y datos provenientes de Internet. Está escrito en Java y se encuentra bajo licencia GNU (GPL). uDig puede utilizar GRASS GIS para operaciones vectoriales complejas y también integra JGRASS y otras herramientas especializadas de hidrología de la máquina de Horton. Soporta de forma nativa archivos de forma (shapefiles), PostGIS, WMS y muchas otras fuentes de datos. Permite la conexión a servidores WFS (Web Feature Service) o acceso a través de Internet a objetos geográficos no sólo a efectos de su visualización en un mapa (WMS) sino además para consulta y descarga, es decir, en modo lectura y escritura.¹

uDIG hace énfasis en los datos de los servidores WMS y WFS. Este software parece no tener tantas funciones de navegación como otros SIG, no tiene la capacidad de abrir tablas asociadas a los datos, no es demasiado manejable, especialmente en la carga de datos, pues no es un proceso directo. Además carece de capacidades de análisis. En general uDIG es un software que actualmente se encuentra en su fase inicial. Por ahora es adecuado como visor de distintos formatos de datos. (refractiosn@udig, 2013)

5.2.7. QGIS

Quantum GIS (QGIS) es un SIG de código abierto licenciado bajo la GNU. Es un proyecto oficial de la Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre bajo los sistemas operativos Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosas funcionalidades y formatos vector y raster.

Es un SIG con aspectos muy visuales y que posee algunas características importantes, tales como soporte directo para edición en PostGIS y conexión con GRASS para tareas como edición de topología. Además, añadir datos y cambiar la simbología es una operación fácil y fiable, como se podría esperar de un SIG competente incluso se puede acceder a los metadatos de las capas cargadas.

Del mismo modo que algunos de los SIG comentados anteriormente, también tiene una filosofía de plugins y actualmente se pueden encontrar un buen número de ellos para tareas como la conversión de archivos shape de ESRI a PostGIS o para conectarse a un GPS y mostrar su posición. Sin embargo, cuenta con una deficiencia sustancial: no dispone de herramientas de análisis. (Ingegraf@inicio, 2013) (Qgis@qgis 2013)

5.2.8. GRASS GIS.

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), es un software de código abierto fue inicialmente concebido y desarrollado por el laboratorio de investigación del cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos (USA-CERL) para la gestión del territorio y la gestión medioambiental. Está licenciado bajo GNU GPL desde 1999, y desde entonces los desarrolladores están contribuyendo continuamente en el desarrollo de nuevas versiones y funcionalidades.

Al ser GRASS uno de los SIG con más tiempo de rodaje, el número de herramientas y utilidades que presenta es muy elevado. Originalmente GRASS estaba muy orientado al aspecto matricial (raster) de la información, aunque contaba con un potente editor de topología vectorial, sin embargo en las últimas versiones el aspecto vectorial y sobre todo la conexión a bases de datos externas se ha ido potenciando. Con la última versión (6.0) se han producido mejoras considerables en la interfaz del usuario (Ingegraf@inicio, 2013).

Actualmente se usa para representación de mapas e imágenes, manipular información vectorial y matricial, incluyendo redes vectoriales, creación, administración de y almacenamiento de información espacial (Wikipedia@GRASS 2013).

5.3. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Además de los software SIG, para el desarrollo de la propuesta de investigación plantea el desarrollo de complementos para relacionar la base de datos con el simulador hidráulico a partir de los atributos de cada elemento del SIG, por lo tanto, es importante exponer los lenguajes de programación utilizados en SIG (Arancha, 2012), véase Tabla 3.

Tabla 3 Lenguajes de programación utilizados en SIG.

Ítem	Lenguaje de programación
01	SQL
03	JAVA
04	PYTHON
05	JAVASCRIPT
06	PHP
07	AVENUE / AML / VBA PARA ARCOBJECTS

5.3.1. SQL

Se utiliza como acceso a bases de datos y lenguaje de control. Es un lenguaje basado en declaraciones, tiene pocas instrucciones y están enfocadas a la lógica. Además, la mayor parte de las sentencias de selección en SIG son de tipo SQL.

5.3.2. JAVA

Es ampliamente usado para programación web. Se considera el lenguaje de programación más usado para desarrollos de GIS open source, utilizado en GeoServer y en proyectos JTS. No es recomendable para desarrolladores con poca experiencia en programación, debido a que no posee un ambiente amigable.

5.3.3. PYTHON

Es un lenguaje de scripts, orientado a objetos y de alto nivel. Actualmente crece en difusión debido a la incorporación del módulo ArcPy en ArcGIS. Python puede ser considerado el sustituto del AML para ArcGIS, con bastantes mejoras, entre las que destaca la agilidad de obtener desarrollos sin sacrificar la robustez de las aplicaciones.

5.3.4. JAVASCRIPT

Es el lenguaje líder de interfaces web. Utilizado tanto por Google Maps como por el principal cliente de mapas web open source (OpenLayers). Se requiere poseer sólidas bases de programación para realizar desarrollos.

5.3.5. PHP

Es un lenguaje utilizado para el diseño de sitios web interactivos. Tiene similitud con lenguajes como C o Perl.

5.3.6. AVENUE / AML / VBA PARA ARCOBJECTS

Son lenguajes de programación considerados en desuso.

5.4. SOFTWARE DE MODELACIÓN HIDRAULICA

Un modelo representa un sistema (existente o no) con sus características (físicas y no físicas (relacionales) topológicas, geográficas, etc)

Un software de modelación es una herramienta tecnológica que facilita la visualización y la comprensión de los sistemas que modela, permite realizar un análisis completo y detallado de todos los componentes simultáneamente. Ha sido una herramienta muy útil en los procesos de planeación, diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura de aguas.

En general todos los software de modelación de drenajes proporcionan las mismas funcionalidades: modelación tuberías existentes y proyectadas, flexibilidad en la configuración de los parámetros de diseño, simulaciones bajo reglas y restricciones, proporciona los resultados como caudales, pendientes, diámetros y optimiza éstos, identifica zonas con problemas hidráulicos, comportamientos del sistema ante diferentes escenarios. Estima costos del sistema y ofrece la información suficiente para la toma de decisiones.

En la siguiente tabla se muestran los software de simulación hidráulica más usados.

Tabla 4 Software para simulación hidráulica

Ítem	Lenguaje de programación
01	HYDRA
02	APyS
03	CIVIL ADS
04	ALCONW
05	SEWER CAD
06	SEWERGEMS

Ítem	Lenguaje de programación
07	EPASWMM

A continuación se hace una descripción general de los software de modelación de alcantarillados más conocidos en el ámbito local.

5.4.1 HYDRA

Este software desarrollado por PIZER Incorporated, es un programa para el análisis y diseño de sistemas de alcantarillado municipales. Hace optimización del sistema, estimación de diámetros, cotas y pendientes, calcula los caudales. y hace la estimación de costos de construcción. Es un programa muy completo para análisis que ha tenido un desarrollo de más de 30 años. Ha sido un estándar en Estados Unidos y Canadá. La última versión es HYDRA 7, de 2010. Este software ha sido utilizado en Colombia, por algunas empresas prestadoras de servicios públicos y consultores. (Pizer, 2009)

Este software permite la integración con GIS a partir de exportación directa desde su interfaz de la información del modelo hacia archivos SHP y permite una comunicación directa con productos de ESRI. Este no es un software libre.

Fuente Pizer@hydra (2009)

5.4.2. APyS (Alcantarillado Pluvial y Sanitario)

De la empresa MasterSoft. Su criterio fundamental es la menor cantidad de excavación posible cumpliendo con los parámetros hidráulicos y la normatividad vigente (RAS 2000). Es de manejo flexible y sencillo. Este software tampoco es libre. Al cumplir con el RAS pero no con la normatividad de EPM deja por fuera

criterios importantes de cálculo ya que las normas EPM cambiaron recientemente (métodos de cálculo de caudales y diseño de cámaras).

Fuente MasterSoft@APyS (2011)

5.4.3. CIVIL ADS (Módulo para análisis y diseño de redes de drenaje sanitario y pluvial urbano)

Desarrollado por la empresa Hidraulica Termoplus de México que se especializa en productos para construcción de proyectos hidráulicos, eléctricos, entre otros. Crearon esta herramienta como soporte de diseño a sus clientes.

Fuente Termoplus@civilads (2013)

5.4.4 ALCONW

Se especializa en alcantarillados sanitarios. Tiene una versión gratuita que puede analizar hasta 20 tramos de red y una profesional que no tiene límite de tamaño de red. Puede incorporar información básica de la red desde archivos de Excel y genera planos tanto en planta como en perfil. Funciona solo bajo Windows y no tiene integración con SIG. Tiene funciones gráficas que ayudan al usuario a la interpretación.

Fuente AlconW@alconw (2012)

5.4.5 SEWERCAD

De la casa Bentley, se especializa en alcantarillados sanitarios. Se puede ejecutar como una aplicación independiente o directamente desde AutocCAD con el que se comunica directamente convirtiendo polilíneas a tuberías. Tiene herramientas de análisis y diseño. No es gratuito.

Fuente Bentley@sewercad (2014)

5.4.6 SEWERGEMS

Permite análisis dinámicos y de flujo no permanente, los cuales cumplen con la nueva normatividad de diseño de EPM. Simula sistemas sanitarios, pluviales o combinados. Los datos se guardan en repositorios geográficos, por lo cual soporta integración con un SIG, incluso tiene comunicación directa con ArcGIS. Permite análisis de sistemas complejos pues soporta todas las estructuras propias de un sistema de drenaje completo (orificios, vertederos, divisores, estructuras de almacenamiento, etc), incluyendo múltiples geometrías de red. Este es el único programa del mercado capaz de importar modelos nativos de EpaSWMM, SewerCAD y StormCAD. Es un software costoso y sin acceso a su código. Este es el que se utiliza en EPM y en el que se van a montar los modelos de todas las cuencas sanitarias operadas por la Empresa.

Fuente Bentley@sewergems (2014)

5.4.7.EPASWMM

EPASWMM (EPA's Storm Water Management Model) es un simulador hidrológico e hidráulico utilizado para análisis y diseño relacionados con la escorrentía producida por eventos de lluvia, alcantarillados combinados y sanitarios, y sistemas de drenaje urbano.[15]

Es un sistema de transporte de agua urbana, se puede usar para un solo evento de lluvia o lluvia continua. El modelo del sistema de drenaje incluye el sistema de tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento o tratamiento y reguladores de flujo. El programa sigue la cantidad y la calidad de escorrentía generada en cada subcuenca, la tasa y la profundidad de flujo y la calidad del agua en cada tubería y canal, durante un periodo de simulación compuesto de múltiples pasos. Puede modelar explícitamente el comportamiento hidrológico de los controles LID

(desarrollos de bajo impacto) como son: pavimentos porosos, jardines de lluvia, techos verdes, barreras de lluvia, zanjas de infiltración, entre otros.

El software es libre y corre bajo Windows. Se puede editar la información de entrada del área de estudio, correr solo la hidrología, simular la hidráulica y la calidad del agua y observar los resultados en varios formatos que incluyen: mapas con códigos de color para el sistema de transporte, tablas y gráficas de series de tiempo, perfiles y estadísticas (epa@learn-issues).

Este software tiene limitaciones importantes entre las que más nos afectan están que es una herramienta de análisis y no de diseño, por lo cual el diseño de esta es manual y el programa no aporta herramientas de optimización y por lo tanto de decisión, además no tiene una conexión integrada con SIG.

6. ESTADO DEL ARTE

Existen estudios [1–3] que defienden que el manejo del agua debe hacerse de forma integral, a través de la integración de sistemas de modelación, incluyendo varios componentes y subcomponentes, con los SIG. Las aplicaciones de integración actuales son desarrollos independientes de los software comerciales [2, 3], los cuales han sido creados con el fin de optimizar los recursos y los procesos antes dispendiosos.

En el estado de la técnica se observa que la integración de los SIG con otros sistemas informáticos es un tema ampliamente estudiado [3–6]. Desde el año 1975 surgieron los primeros inicios para el acople de un SIG con modelos hidrológicos e hidráulicos, realizados por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC), iniciando con la versión HEC-1 y con un SIG que trabajaba un método basado en la red. Esto dio como resultado el HECSAM (Metodología de Análisis Espacial). Llegando a la conclusión que el SIG servía simplemente como una base de datos para alimentar el modelo hidrológico [7].

Una cantidad considerable de desarrollos de integración de dichos sistemas han sido destinados a dos diferentes ámbitos: (a) el medio ambiente y el manejo de agua, y (b) el estudio hidrológico dirigido al ordenamiento del recurso hídrico. Los modelos hidrológicos e hidráulicos requieren del manejo de diferentes tipos de datos tanto de entrada, parámetros de salida que son definidos tanto en el espacio y en el tiempo. Debido a esto, resulta interesante el uso de las herramientas con la que cuentan los SIG para ejecutar los cálculos espaciales principales en la implementación de los modelos hidrológicos e hidráulicos, tales como algoritmos para cálculos de la línea divisoria de agua, pendientes, modelos del terreno, etc. [7]

Otra cantidad de desarrollos, en menor grado, han sido en el ámbito hidráulico, para predecir eventos de inundación. El enfoque de la gestión integral de

inundaciones requiere ser capaz de predecir las consecuencias de éstas, para esto se utilizan los sistemas de información geográfica, adicionalmente, sumarle una tarea bastante compleja como la integración de los modelos en SIG y la modelación hidrológica e hidráulica que ayudarían a superar las dificultades y obtener buenos resultados en diferentes prácticas de la ingeniería [7]. La modelación de la hidrología e hidráulica tradicional se puede relacionar con herramientas sofisticadas similares a los SIG, donde una simple representación de una zona de inundación puede ser comprendida por el público y tener validez científica.

Algunos de los software comerciales han incursionado recientemente con la integración, por ejemplo: WaterGEMS mantiene toda la información de los elementos en bases de datos espaciales; MIKE URBAN de DHI, que modela distribución y recolección de agua, utiliza geodatabases de ESRI para almacenar información de sus atributos; InfoWorks de Innowyze, ha incluido la integración como sistema de trabajo. Las aplicaciones de modelación proveen herramientas que permiten la interoperabilidad entre las utilidades SIG y un modelo hidráulico [1].

En la integración, la transferencia de datos se hace entre modelos con diferentes esquemas, por lo que los puntos de intercambio de información puede facilitarse utilizando programas de enlace orientados a objetos. Los programas orientados a objetos son aplicaciones que pueden ser desarrollados para enlazar varios componentes de modelación o modelos [2]. Los métodos orientados a objetos son competentes para la integración fuerte de un SIG y modelos ambientales. La representación orientada a objetos consiste de objetos espaciales y objetos temáticos; los objetos espaciales representan entidades del mundo real: geográfica, física, ambiental y socioeconómica; los objetos temáticos constituyen métodos y temas de interés para los objetos espaciales [5].

Existe un trabajo [7] de integración entre modelos hidrológicos (XSRAIN y OMEGA) y modelos hidráulicos, con cartografía de inundaciones (HEC2). El trabajo permitió acoplar un SIG con un software en el que se ejecutaron los modelos hidrológicos e hidráulicos, y los resultados se pudieron transferir de nuevo al SIG. En la metodología empleada, en primer lugar la cartografía existente (o datos de origen) se deben convertir a en datos que puedan ser utilizados por el SIG, de esto surgen bases de datos georeferenciadas en formato digital [7].

Otro trabajo [2] de integración se hizo entre un modelador hidrológico (HEC-HMS) y uno hidráulico (HEC-RAS) con un SIG, ArcGIS 9. El módulo de ArcGIS, Modelbuilder, permitió que tareas de geoprocésamiento fueran enlazadas en el flujo de trabajo del SIG. Para esto se utilizó ArcHydro, un programa de enlace orientado a objetos, en el cual se desarrollaron varios códigos para enlazar los elementos y sus relaciones. En el caso de estudio, el modelo hidrológico HEC-HMS y el modelo hidráulico HEC-RAS son integrados en una aplicación automática de mapeo de un terreno de inundación en un SIG. Este desarrollo es un ejemplo de una integración débil. El acople se hizo con programas puente, permitiendo realizar modificaciones independientes sin alterar los otros componentes del sistema y aun así, facilitando la interacción de las aplicaciones entre sí y con la base de datos central [2].

En otro estudio [5], se realizó la modelación de una cuenca usando el aproximación orientada a objetos. Se desarrolló un modelo de datos para integrar los componentes físicos y lógicos en una misma estructura, para implementar una integración fuerte. El caso de estudio se dio en la cuenca del río Kashkadarya, que es una subcuenca del río Amudarya en la región del mar Aral en Asia central. Los componentes de la cuenca fueron representados como vectores. Se definió cada componente como una clase de objetos espaciales.

En Shariatpur se obtuvo un método para el tratamiento de las inundaciones con el objetivo de controlar el riesgo en la producción agrícola de esta población. Para el

estudio se utilizaron mapas creados en el software para modelamiento hidrodinámico llamados HEC-RAS y HEC-GeoRAS, que es una extensión de ArcGIS [8]. La investigación requería calcular la profundidad óptima apropiada para la gestión del riesgo de inundaciones en la producción agrícola, se utilizaron algunos análisis estadísticos, así como, un modelo de SIG con ArcGIS 9.2 y se propusieron aspectos para la gestión de los flujos de inundación [8]. Los datos espaciales se crean usando el aplicativo HEC-GeoRAS se exportan al HEC-RAS para realizar el análisis hidráulico [8].

Hay una tendencia entre los SIG de mejorar la interfaz con una amplia gama de tipos de datos y una mayor integración dentro de un único sistema de software que alguna vez trabajaron de modo separado y con diferentes capacidades, así como los tipos CAD y SIG se han logrado integrar, los tipos raster y vector se han fusionado. Según esto, la tendencia continuará con todo tipo de modelos, ambientales, hidrológicos e hidráulicos [7].

En otro estudio se demostró que un SIG puede ser utilizado para pre procesar información y validar su uso en un modelo ambiental y estar fuertemente acoplado a este para proporcionar un sistema interactivo que permita modificar parámetros para visualizar distintos escenarios de la modelación. Aquí se integra un modelador hidráulico con un SIG para ordenamiento de una cuenca, resultando en una forma eficiente y adecuada para la gestión de recursos [4]. Se probó la integración de AGNPS y el SIG utilizando tanto la estrategia débil como la fuerte. La estrategia de acoplamiento fuerte resultó ser superior con respecto a la otra para hacer el análisis del modelo y realizar la calibración de datos [4]. El modelo hidrológico se ha desarrollado como una extensión, o plug-in, que se carga en ArcView.

Según lo analizado en los trabajos anteriores, se pueden aplicar técnicas similares para implementar la integración del SIG con un motor hidráulico, para el análisis de datos espaciales para el diseño de alcantarillado.

Algunos trabajos [10] sostienen que la integración completa, en el caso del análisis de datos espaciales con un SIG es la mejor opción desde el punto de vista teórico, justificado en que el SIG es la herramienta más eficaz para manipular en los datos de entrada, recuperar, administrar, visualizar, etc., datos espaciales [10].

Actualmente los SIG, en la gran mayoría de las empresas administradoras de los servicios públicos, se usan para consulta y gestión de la información en lo que se refiere a las redes de suministro de agua y recolección de aguas residuales, desconociendo la capacidad de los SIG para combinar la información geográfica con la información alfanumérica [11].

Para lograr esta combinación es necesario que los modelos hidráulicos se encuentren calibrados y actualizados por lo que requiere además una conexión con la información de usuarios, con el control operativo de la red, y actualización del estado de los componentes de la red, que se logra incluyendo el sistema SCADA para obtener los datos directamente del campo [11]. Debido a la gran cantidad de componentes que se deben involucrar en el momento de esta integración hace que no sea una solución rápida [11].

Actualmente existe una aplicación llamada GISRed, concebida como una extensión de ArcView 3.2 encargada de extraer y calibrar un modelo desde el sistema SIG combinada con la información de campo de SCADA. Para la modelación en este caso, para suministro de agua potable, se utilizó el EPANET 2 con una calibración utilizando algoritmos genéticos, permitiendo simulaciones en tiempo real [11]. Básicamente la aplicación GISred reúne en un mismo escenario diferente tipo de información, la depura, la filtra y la almacena en una base de datos propia del programa. Así mismo, genera el modelo de red para simular su comportamiento con las herramientas del programa EPANET [11].

Se concluye que con los sistemas de información geográfica no solo se orienta a la recopilación de información para almacenarla y la generación de un mapa o

plano, la integración de los modelos hidráulicos con el SIG le da un nuevo enfoque al análisis de esta información, que puede aplicar para la toma de decisiones. [11]

La idea de integrar o combinar los SIG con modelos hidráulicos representa una gran ayuda y agilidad en la planeación y prevención de alguna manera en la gestión de administración y control de los sistemas de redes suministro de agua y alcantarillado.

La relación de los modelos hidrológicos e hidráulicos con SIG es una buena forma de estudiar diferentes escenarios, así mismo se puede evaluar al realizar un diseño de alcantarillado que requiere la evaluación de diferentes alternativas para definir la más óptima. Sin embargo, este acoplamiento sigue presentando dificultades debido a que los SIG aún no son totalmente adecuados para la representación de los fenómenos dependientes del tiempo.

Actualmente en EPM, específicamente en la dirección de aguas se ha venido utilizando el SIG Geomedia para administración y visualización de la información que respecta al inventario de infraestructura de los sistemas de acueducto y alcantarillado. Sin embargo, aunque este fue el uso original de los SIG [1], el uso de estos lleva ya mucho tiempo de perfeccionamiento y desarrollo de herramientas más amplios, y cada vez más específicos orientados a diferentes disciplinas, entre ellos la ingeniería. Los SIG actuales ofrecen gran cantidad de análisis espacial y administración de información.

Los modelos hidráulicos son herramientas de operación y para el diseño de las redes. Actualmente solo se dispone de los modelos de acueducto y se está llevando a cabo una consultoría para tener los modelos de drenaje urbano de las cuencas en el software SewerGEMS. Siempre se han desarrollado y utilizado independiente de un SIG, es decir, la infraestructura de la empresa, estando en el modelo SIG, se corre en un modelo en los que los objetos no son geográficos y que se actualizan manualmente. Actualmente se actualiza el SIG y con base a esta información, se modifica el modelo. O se hace un diseño en el modelo y

manualmente se dibuja en el SIG para que se vea reflejado con la infraestructura de la empresa, como proyecto en diseño.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

De acuerdo a lo mencionado en los anteriores capítulos, se pretende definir una metodología para una integración de programas de una “*forma débil*”, es decir, el simulador no se comunicará directamente con la base de datos geográfica. Por las características del simulador sabemos que no tiene atributos geográficos y que el archivo de ejecución es un texto plano, por lo que no hay un repositorio de datos que se pueda compartir con ningún otro programa.

Para subsanar esto, se construirán complementos que se ejecutarán externamente a la base de datos y que construyan los archivos INP con los atributos de las redes, necesarios para correr el simulador. Luego de la simulación hidráulica, se creará un archivo que actualice la base datos con los resultados hidráulicos.

Esto permitirá el paso automatizado de información de la base de datos al software de diseño y viceversa, es decir, alimentar de manera dinámica los proyectos.

Además de las ventajas de diseño, esta metodología también sirve para revisión y verificación de redes existentes por lo que puede emplearse durante todas las etapas de vida de un proyecto de desarrollo de infraestructura. Durante la planeación, diseño, operación y planes de reposición. Como la información está en una base datos geográfica, esta se puede ir alimentando con información proveniente de POT, desarrollos de urbanizadores y demás fuentes.

Para el desarrollo del proyecto se ha estructurado un conjunto de etapas:

- Identificación y elección de la plataforma SIG apropiada para el desarrollo de la herramienta

- Identificación de la base de datos espacial que va a soportar la información de campo insumo del diseño y del lenguaje en el que se pueda desarrollar la aplicación que comunique éste con el SIG.
- Identificación del motor hidráulico
- Delimitación y alcance del proyecto
- Definición del escenario en el que se va a diseñar.
- Identificación de elementos a considerar y de los atributos de estos, necesarios para el diseño de redes que sean compatibles entre el modelador hidráulico y el SIG.
- Definición del flujo de información.
- Creación de una estrategia para integrar los atributos en cada elemento del proyecto en el SIG.
- Construir procedimiento para actualizar los atributos de cada elemento de alcantarillado en el SIG, desde el archivo del simulador de redes de alcantarillado.

Se puede ver a continuación el desarrollo de estas etapas.

1. Identificación y elección de la plataforma SIG apropiada para el desarrollo de la herramienta.

Dada la flexibilidad de la plataforma y a que es esta la más ampliamente utilizada hoy, se trabajará con QGIS (Quantum GIS). Además, esta herramienta soporta los formatos que se necesitan y su interfaz gráfica es la más similar al ArcGIS, lo que hace que sea más familiar con los usuarios, puesto que ArcGIS es el software más utilizado comercialmente. De igual forma, sabemos que es compatible con el administrador de datos seleccionado que es PostGIS y contiene facilidades de edición de datos de topografía. Su filosofía de funcionamiento a base de desarrollo de aplicaciones puede dar mayor campo de acción y la comunidad que respalda este desarrollo es muy amplia, lo que nos da confianza y respaldo. (Ingegraf@inicio, 2013)

2. Identificación de la base de datos espacial que va a soportar la información de campo insumo del diseño y del lenguaje en el que se pueda desarrollar la aplicación que comunique este con el SIG.

PostGIS es una extensión espacial de la base de datos objeto relacional PostgreSQL. Complementa el soporte a los objetos geográficos permitiendo que las “queries” de localización puedan ser corridas en SQL. Esta base de datos ofrece muchas características que no es común encontrar en otras bases de datos espaciales como Oracle. Es de uso libre y licenciado bajo la GNU. Tiene un lenguaje de programación propio (PL) que proporciona Oracle para extender el SQL estándar con otro tipo de instrucciones y elementos propios de los lenguajes de programación, el cual se basa en sentencias (SQL) para automatizar funciones y desarrollar aplicaciones. (PostGIS@postgis (2014). Sin embargo, el lenguaje de programación a utilizar será Python.

3. Identificación del motor hidráulico

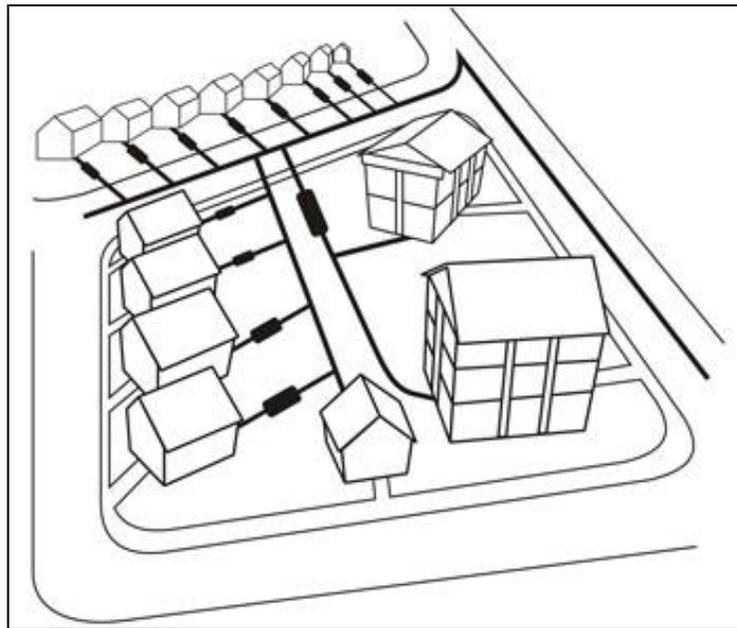
A pesar de las limitaciones mencionadas se utilizará el modelador hidráulico EPASWMM. Este es el software gratuito más completo y utilizado del mercado, dada su larga trayectoria y su potencial de simulación, ya que sus cálculos cumplen con la normatividad de EPM. Además los archivos de simulación son compatibles con el software utilizado en la empresa (SewerGEMS) pudiendo pasar un modelo de un software a otro a necesidad. Es decir, se puede recibir de un consultor un modelo en EPASWMM y migrarlo a SewerGEMS para nutrir la base de datos de infraestructura de la Empresa, por lo que consideramos que es software óptimo para este proyecto específico.

4. Delimitación y alcance técnico del proyecto.

El objetivo de un sistema de alcantarillado es la evacuación de las aguas residuales de las viviendas hacia una disposición correcta y la de las aguas lluvias hacia las fuentes naturales.

Un sistema completo de alcantarillado consta de redes primarias o principales, para la recolección; colectores e interceptores finales, para el transporte, que conducen las aguas hacia su disposición (idealmente en una planta de tratamiento).

Figura 1. Esquema General de Sistema de Alcantarillado



Tiene como elementos complementarios pozos o cámaras de inspección, sumideros y cunetas.

Para conocer más sobre este tipo de sistemas, se presentan algunos términos relacionados con el desarrollo de proyectos de alcantarillado.

- **Aguas Lluvias** Aguas provenientes de la precipitación pluvial.

- **Aguas residuales** Desechos líquidos provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias.
- **Aguas de infiltración** Agua proveniente del subsuelo, que puede ingresar al sistema de alcantarillado.
- **Alcantarillado de aguas combinadas** Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias.
- **Alcantarillado de aguas lluvias** Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de aguas lluvias.
- **Alcantarillado de aguas residuales** Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas y/o industriales.
- **Área tributaria** Superficie que drena hacia un tramo o punto determinado de la red de alcantarillado.
- **Cámaras de inspección**, son estructuras de forma usualmente cilíndrica, que remata generalmente en su parte superior en forma tronco-cónica, y con tapa removible para permitir la ventilación, el acceso y el mantenimiento de las redes.
- **Caudal de diseño** Caudal para el cual el sistema debe satisfacer los requerimientos hidráulicos.
- **Coeficiente de rugosidad** Parámetro que representa el efecto friccional del contorno del conducto sobre el flujo y en general depende del tipo de material del conducto.
- **Cota de batea** Nivel del punto más bajo de la sección transversal interna de una tubería de alcantarillado.

- **Cota de clave** Nivel del punto más alto de la sección transversal externa de una tubería de alcantarillado.
- **Cuerpo receptor** Cualquier masa de agua que recibe la descarga del efluente final.
- **Diámetro interno real** Diámetro interno de una tubería determinado con elementos de medición apropiados.
- **Diámetro nominal** Diámetro utilizado como especificación comercial de las tuberías y que no coincide necesariamente con el diámetro interno real de éstas.
- **Pendiente** Inclinación longitudinal de un canal o ducto.
- **Sistema de Alcantarillado** Conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales, lluvias y combinadas.
- **Tramo** Red de alcantarillado comprendida entre dos cámaras de inspección o entre una cámara y una descarga final. Estos están compuestos por **tubos o tubería** que son conductos prefabricados, o construidos en sitio, de diferentes materiales. Por lo general su sección es circular.
- **Estructuras de entrega** Estructuras utilizadas para evitar daños e inestabilidad en el cuerpo de agua receptor.
- **Vertimiento líquido** Cualquier descarga líquida hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado.

Las redes de alcantarillado son estructuras hidráulicas que funcionan a presión atmosférica, por gravedad.

La metodología de diseño y los parámetros de entrada y criterios a tener en cuenta dependen del tipo de sistema que se va a diseñar. Para el caso específico del presente proyecto, se diseñará un alcantarillado de aguas residuales

domésticas. Es decir, no se tendrán en cuenta los parámetros hidrológicos de la cuenca para el dimensionamiento de las estructuras.

El software EPASWMM, fue desarrollado primordialmente para el modelamiento de respuesta a eventos de tormenta; sin embargo, en este se pueden modelar y diseñar redes que sean únicamente residuales.

El diseño obedecerá a un sistema exclusivamente residual, con tubería de PVC que descarga a una planta de tratamiento de agua residual. Como el interés de este trabajo es la integración, no utilizaremos un sistema con una alta exigencia de condiciones hidráulicas, sino que se modelará un sistema básico. Por lo tanto, no se incluirán parámetros hidrológicos, ni de planeación; esto se dejará para desarrollarlo en etapas posteriores a este proyecto.

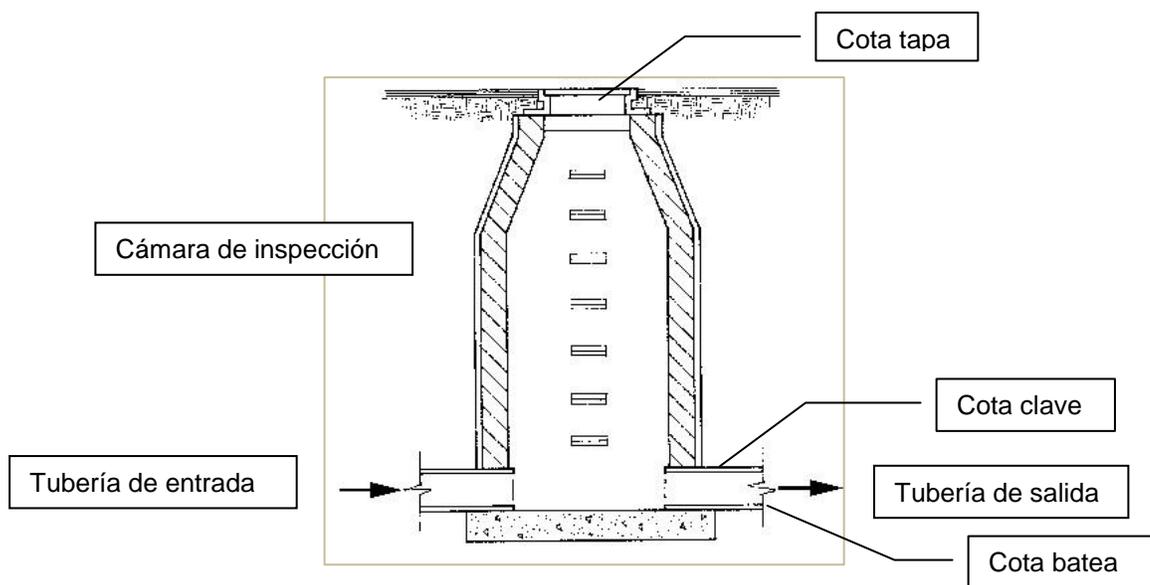
Los elementos que se requieren para esta modelación serán, las cámaras, los tramos y las descargas.

El funcionamiento hidráulico requeriría el ingreso del dato de los caudales puntuales que se van a transportar en el sistema. Este entra como un dato, alojado en la tabla de atributos de las cámaras, en el campo llamado Caudal Base Residual. Ver Tabla 5 Atributos elementos de alcantarillado. Este será el caudal de diseño.

Para los tramos se tendrán en cuenta el material de la tubería, puesto que el coeficiente de rugosidad es un dato que se requiere para la modelación hidráulica, así como el diámetro interno. Estos datos son característicos de la tubería y estarán alojados como campos en la tabla tramos. Ver Tabla 5 Atributos elementos de alcantarillado.

Las cotas son características de las cámaras. En la figura 2, se ilustra cuales son las cotas requeridas y a que corresponden físicamente. Estos datos vienen de topografía y se alojan en la tabla cámara. Ver Tabla 5 Atributos elementos de alcantarillado

Figura 2. Cámara de Inspección – cotas ó elevación utilizadas

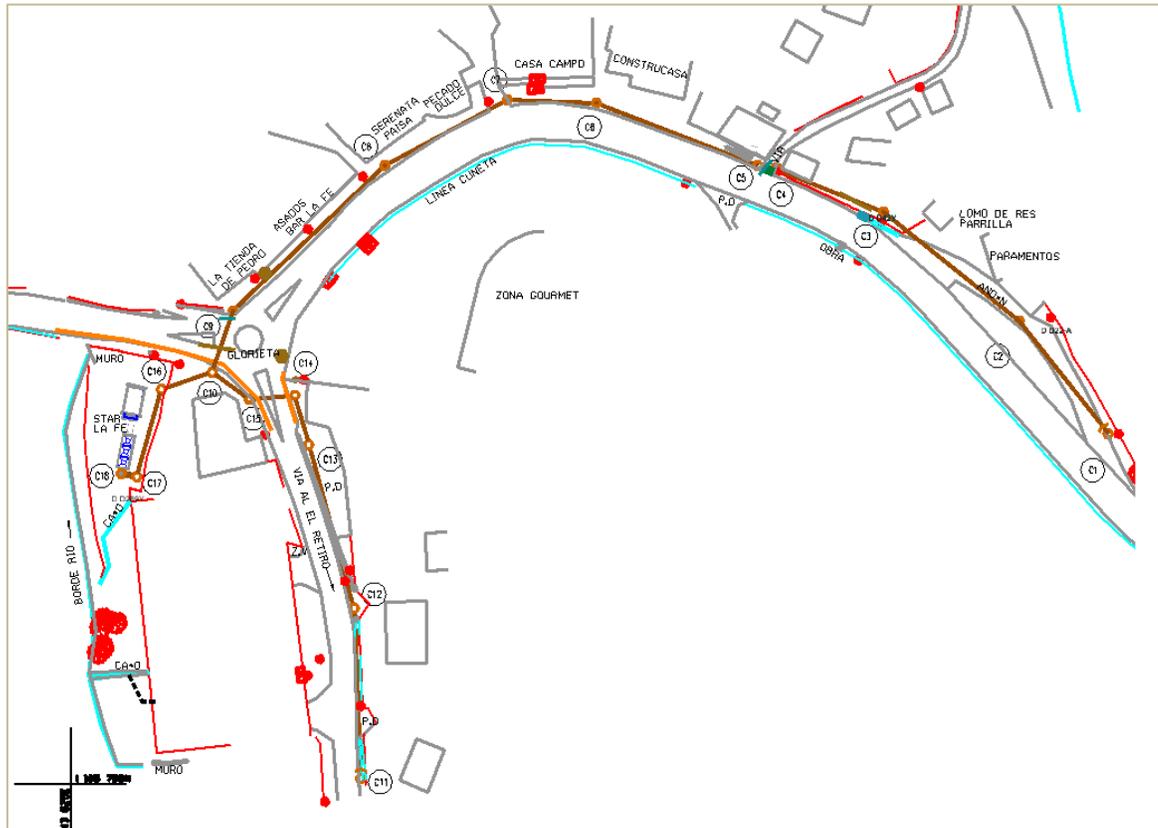


5. Definición del escenario en el que se va a diseñar.

Se va a tomar como proyecto de prueba, un diseño ya realizado, disponible en la empresa. Este diseño fue ejecutado por un consultor externo para EPM en el año 2009. Es un proyecto de alcantarillado para recolección de aguas residuales, ubicado en la glorieta del sector La Fe, en el municipio de El Retiro.

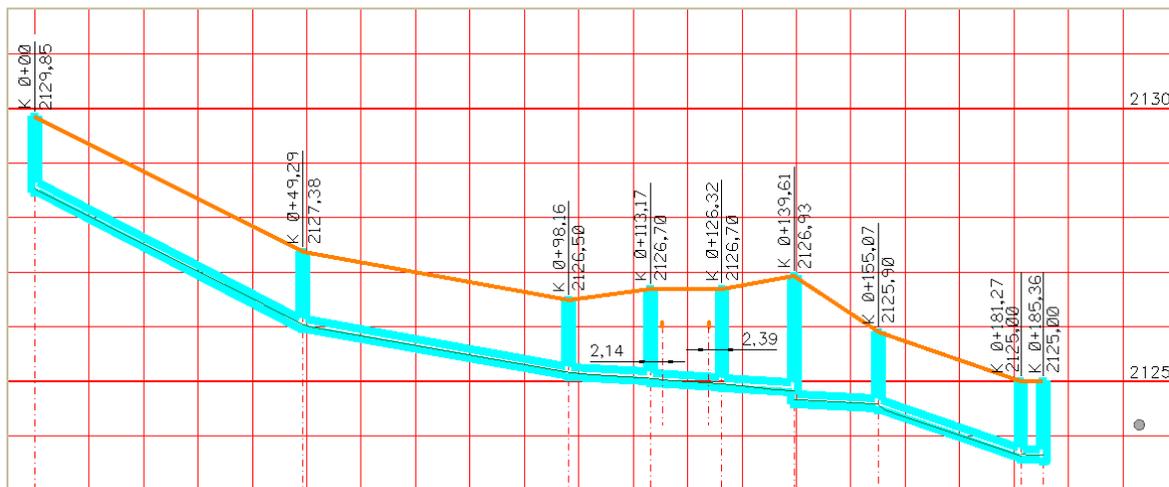
En las siguientes figuras se observa el trazado de la red en diseño y las convenciones respectivas del dibujo. En la figura 4 Perfil del Alcantarillado, se observa el dibujo de la red en perfil.

Figura 3. Trazado alcantarillado en planta



Red Aguas Residuales en diseño	
Red Aguas Residuales en Operación	
Cámara Inspección Residual en Diseño	
Número de la Cámara	
Poste de Energía	

Figura 4. Perfil alcantarillado



Este diseño cumple las condiciones que requerimos para el piloto del proyecto. Es un alcantarillado residual, con 17 cámaras de inspección y una longitud de redes de 500 m aproximadamente. En el diseño original esta llegaba a una planta de tratamiento de agua residual, pero para efectos de nuestro modelo, la salida del sistema será una descarga.

6. Identificación de elementos a considerar y de los atributos de estos, necesarios para el diseño de redes que sean compatibles entre el modelador hidráulico y el SIG.

Para iniciar un diseño de alcantarillado, sea un sistema nuevo o una modernización de un sistema existente, se parte de la información recolectada en campo, es decir los datos de topografía. Estos datos se pueden tomar con teodolitos y se recolectan en libretas de topografía (manual) o en sistemas de recolección datos más sofisticados como la Estación Total, la cual toma datos usando tecnología electrónica, que pueden ser migrados directamente a un computador.

Los datos que levantan los topógrafos para diseño de alcantarillado son las cámaras de inspección y las descargas. Estas cámaras se proyectan espacialmente en el caso de un alcantarillado nuevo o se levantan las existentes en el caso de diseñar una modernización del alcantarillado. Para nuestro caso el proyecto de alcantarillado será nuevo.

Los datos que se requieren son las coordenadas y las alturas sobre el nivel del mar en la rasante sobre el cual están proyectadas las cámaras del alcantarillado y las descargas. Este dato corresponde a la cota terreno o cota tapa de la cámara.

Esta información topográfica usualmente se representa en un CAD, sobre el cual se basa el diseño topológico de las redes para ser llevada a hojas de Excel en las cuales se hace el diseño hidráulico de las redes y las cámaras.

Con este proyecto pretendemos que la información no se vacíe en un CAD donde no se tienen más atributos que los de dibujo, sino que la información se ingrese directamente a una base de datos, y se guarde directamente como parámetros de diseño para que cada elemento, que quede con sus atributos tanto topológicos como hidráulicos.

Para la prueba inicial del proyecto se tendrán en cuenta los siguientes elementos del sistema de alcantarillado.

- Tramos
- Cámaras
- Descargas

Estos son los elementos mínimos para correr un escenario de un sistema de alcantarillado en el software EPASWMM. Los tramos corresponden a las tuberías y las descargas corresponden al elemento final del sistema.

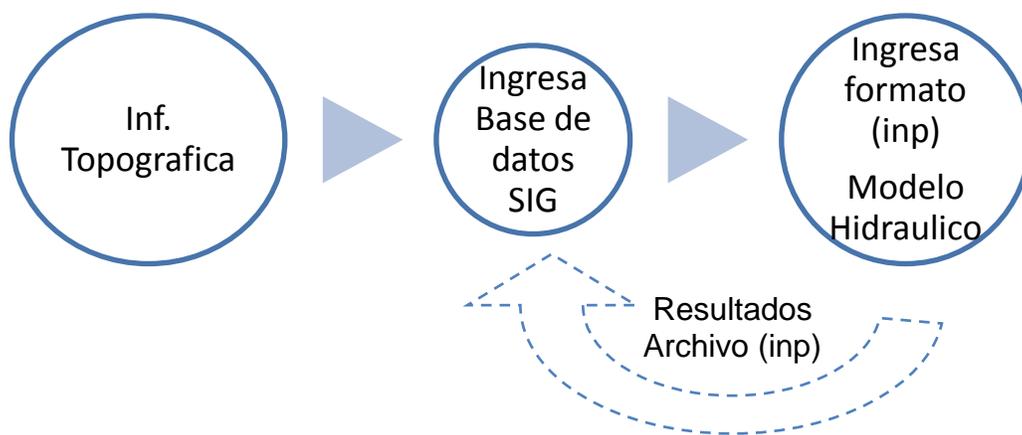
Los atributos de cada elemento se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5. Atributos elementos de alcantarillado

TRAMO	CAMARA	DESCARGA
Nombre	Nombre	Nombre
Cámara inicial	Cota tapa	Tipo
Cámara final	Cota Batea	Cota descarga
Seccion	Prof_maxima	Compuerta S/N
Diametro	Prof_inicial	Coordenada X
Longitud	Prof_sobrecarga	Coordenada Y
N_Manning	Área inundable	
Cota Batea inicial	Coordenada X	
Cota Batea final	Coordenada Y	
Profundidad en cámara inicial	Caudal base residual	
Profundidad en cámara final		
Caudal Diseño		
Caudal a tubo lleno		

7. Definición del flujo de información.

Figura 5. Proceso de integración



8. Creación de una estrategia para integrar los atributos en cada elemento del proyecto en el SIG.

La información de los elementos de la red de alcantarillado se alojará en tablas. Estas tablas se generan automáticamente al importar un archivo tipo shape (SHP) a la base de datos. Los campos de estas tablas son los atributos del archivo SHP, por lo que debe procurarse que este archivo tenga los atributos que se muestran en la Tabla 6, Información para las tablas de la base de datos. En esta tabla se muestra de manera informativa los campos, sin embargo estos no tienen que tener estrictamente estos mismos nombres.

Tabla 6. Información para tablas de Base de datos

<u>TRAMO</u>		<u>CAMARA</u>		<u>DESCARGA</u>	
ID_TRAMO	Integer	ID_CAMARA	Integer	ID_DESCARGA	Integer
Nombre	character varying	Nombre	character varying	Nombre	character varying
Seccion	numeric	Cota_tapa	numeric	cota_desc	numeric
Diametro	numeric	q_base_res	numeric	geom geometry	MultiPoint,3116
Longitud	numeric	cota_batea	numeric		
Material	Integer	Prof_max	numeric		
N_Manning	Integer	gmrotation	numeric		
Pendiente	numeric	geom geometry	MultiPoint,3116		
c_batea_in	numeric				
c_batea_fi	numeric				
Z1	numeric				
Z2	numeric				
qdis	numeric				
qlleno	numeric				
c_inicial	Integer				
c_final	Integer				
geom geometry	MultiPoint, 3116				

Los campos mostrados están orientados al archivo de entrada del modelador hidráulico. Las tablas no tienen que estar completamente diligenciadas en sus campos. Esta información puede llenarse posteriormente, sin embargo es necesario que los campos queden creados en la base de datos.

La base de datos donde se alojaran dichas tablas será Postgres con su módulo espacial Postgis.

El archivo SHP se cargará a la base de datos mediante un modulo del PostGIS llamado Shapefile Import/Export, es un complemento que sirve para gestionar las bases de datos PostGIS. (MappingGIS@postgis, 2013). Ver Anexo 5 Manual de Usuario.

Una vez cargados los datos de campo a la base de datos, las tablas deben ser complementadas a criterio del diseñador con información que sea necesaria para el diseño hidráulico.

Por medio de la herramienta del Script de integración entre Sistemas de Información Geográfico y Modelador Hidráulico, puede migrarse a un archivo tipo INP que es el que lee el programa EPASWMM. Es un archivo con un formato estructurado y definido compatible con el software de modelación hidráulica. Aún así, es un archivo muy flexible, el cual se puede cargar solo la información necesaria sin que se afecte la carga de datos o el funcionamiento del software.

La herramienta de construcción de estos archivos es un ejecutable escrito en lenguaje Python, el cual construye el archivo de texto plano, con el formato definido, insertándole la información proveniente de las tablas de la base de datos. Esto se hace posible mediante la librería Psycopg2, que es una librería de comunicación para automatizar funciones de PostGIS con el lenguaje Python. (Zetcode@psycopg2, 2012)

De esta forma se carga automáticamente la información de la base de datos al modelador hidráulico. Ver anexo 1. Código de Carga de Datos al INP.

Una vez construido el archivo INP se puede cargar la topología y demás atributos al simulador para comenzar con el proceso de diseño hidráulico. El archivo plano queda como se observa en el Anexo 2 Archivo INP inicial. Una vez se tenga este INP, puede invocarse directamente desde el EPASWMM y ser ejecutado en el escenario definido.

Se observa que el archivo de entrada además de la información física de los elementos, tiene toda la información de definición de escenario como son los métodos de cálculo, las unidades, el tiempo de corrida, entre otros. Estos criterios están definidos previamente por el diseñador y según las normas de diseño que debe seguir.

En la siguiente figura se observa cómo queda el esquema del sistema de alcantarillado.

Figura 6. Esquema alcantarillado en el modelador hidráulico

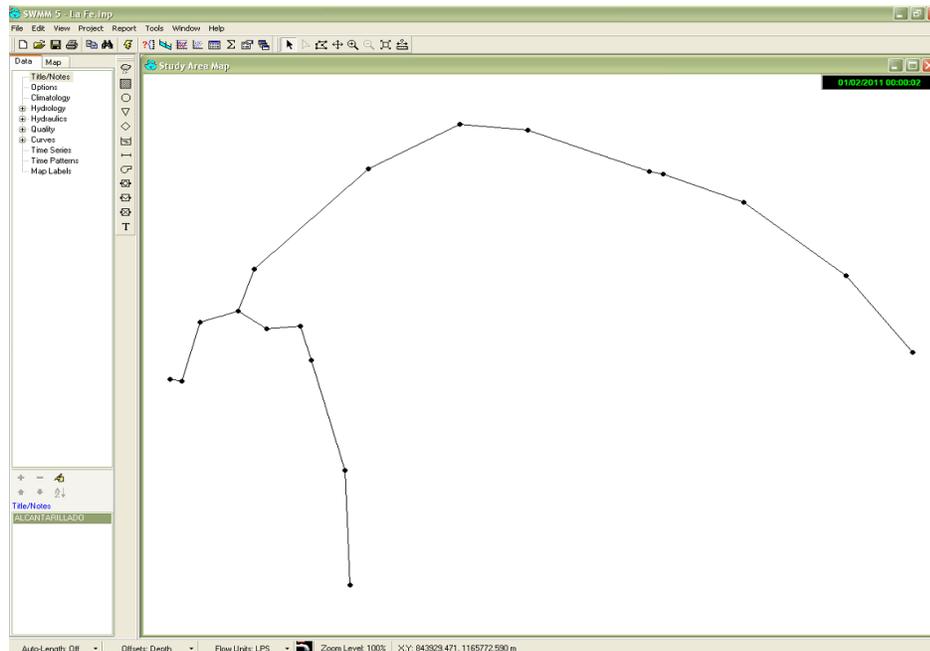


Figura 7. Perfil de alcantarillado en el modelador hidráulico



Una vez se tenga definido el diseño hidráulico, el programa guarda el proyecto, generando un nuevo archivo INP actualizado.

De igual forma como la información fue exportada desde la base de datos mediante una herramienta para construir el INP, la información debe ir nuevamente a la base de datos para actualizar los campos que fueron modificados durante el proceso de diseño, desde el INP actualizado.

9. Construir procedimiento para actualizar los atributos de cada elemento de alcantarillado en el SIG, desde el archivo del simulador de redes de alcantarillado.

Utilizando el lenguaje de programación Python elaboramos una herramienta para que devuelva los datos a la base de datos del SIG y actualice los atributos de los

elementos que cambiaron después de la modelación en el EPASWMM. La herramienta debe leer cada atributo definido para actualizar la base de datos, ver Anexo 3 Código de carga de datos actualizados a la base de datos. Los atributos que cambian son los resaltados en la siguiente tabla:

Tabla 7. Atributos que cambian con el resultado de la modelación

TRAMOUT	CAMARAOUT	DESCARGAOUT	COORDENADASOUT
nombre_tramo	Nombre	nombre_desc	nombre_cam
longitud	cota_tapa	cota_desc	coord_x
n_manning	q_base_res	Compuerta S/N	coord_y
cota_batea_inicial			
cota_batea_final			
q_diseno			
q_lleno			
fk_camara_inicial			
fk_camara_final			

En el Anexo 5 Manual de Usuario, se encuentra el procedimiento para ejecutar la herramienta descrita.

8. RESULTADOS

La integración entre el sistema de información geográfico, en el módulo de la base de datos y el modelador hidráulico se logró establecer de una forma asíncrona y como se describe en la metodología una “*forma débil*”, a través de herramientas intermedias, los cuales se desarrollaron utilizando el lenguaje de programación Python, por medio de la librería “psycopg2” que permite ejecutar funciones de PostGIS directamente.

Se realizaron dos scripts uno para la creación del archivo plano INP, y otro para generar uno nuevo a partir de la información que se modifique en la base de datos espacial.

Se realizó el dimensionamiento del sistema de alcantarillado residual para el sector de la glorieta de La Fe, en el municipio de El Retiro y el resultado fue el alineamiento óptimo para el sistema, el cual es el insumo más importante para el diseño detallado del sistema completo de alcantarillado.

El diseño de la base de datos se hizo de una forma optimizada, de modo que cualquier profesional con conocimientos del tema pueda dominarla. Es decir, es suficientemente clara para la interpretación del topógrafo y del diseñador.

La base de datos, puede manejarse de forma distribuida mediante múltiples copias, aunque se debe mantenerse el mismo formato y estructura de las entidades geográficas que intervienen en el modelo, para que los scripts de importación y exportación funcionen de forma correcta. De esta forma el diseñador o modelador del alcantarillado podrá manejar su propia versión de la base de datos, sin necesidad de un administrador exclusivo para esto.

Las tablas actualizadas en el PostGIS pueden ser visualizadas directamente en el software Qgis.

Debido a que la integración se realizó de forma exitosa, para esta primera fase, se podría empezar a expandir el manejo de esta y sus funcionalidades, integrándole más elementos como la hidrología de los sistemas y la dinámica urbana.

9. CONCLUSIONES

- Se hizo una integración de una base de datos espacial PostGIS y un modelador hidráulico por medio de software de tipo open source como lo son:
 - Postgresql:
 - Postgis:
 - Epswmm:+
 - Python:.
- Se integraron exitosamente los atributos topológicos entre los sistemas para lograr resultados hidráulicos satisfactorios. Los datos de campo de los elementos del sistema de alcantarillado Tramo, Cámara y Descarga, que se alojaban en formato SHP, se migraron apropiadamente a la base de datos geográfica, conservando sus atributos geográficos y sus campos de información técnica propias del sistema hidráulico. Estos atributos se llevaron al archivo INP de forma correcta, con lo que se pudo hacer una simulación hidráulica que cumple con los criterios ingenieriles exigidos para un sistema de este tipo.
- Trabajar directamente con datos topográficos y el modelador hidráulico, elimina pasos intermedios de migración de datos a un CAD y a un archivo tipo Excel, que es a lo que apunta la empresa en sus objetivos de optimización de los procesos.
- El procedimiento a través del cual se realiza el proceso de integración es sencillo y de fácil operación para los usuario promedio de este tipo de sistemas.
- Al trabajar con archivos de tipo geográfico, nos da la ventaja de hacer simulaciones con datos reales de campo para tomar decisiones que van más allá de lo teórico o de datos asumidos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] J. Edwards y et al., “Benefits of integrating sig and hydraulic modeling”, en Hydraulic Modeling and GIS, L. Armstrong Editor, ESRI Press, 1ra ed., 2011, Cap. 1, pp. 3–13.
- [2] D. Cesur, “GIS as an information technology framework for water modeling”, J. of Hydroinformatics, IWA Publishing, vol. 9, no. 2, pp. 123–234, 2007.
- [3] X. Wang, “Integrating GIS, simulation models, and visualization in traffic impact analysis”, Computers, Environment and Urban Systems, Elsevier, vol. 29, pp. 471–496, 2005.
- [4] D. Pullar y D. Springer, “Towards integrating GIS and catchment models”, Environmental Modelling & Software, Elsevier, vol. 15, pp. 451–459, 2000.
- [5] D.C. McKinney y X. Cai, “Linking GIS and water resources management models: an object-oriented method”, Environmental Modelling & Software, Elsevier, vol. 17, pp. 413–425, 2002.
- [6] S. Steiniger y A.J.S. Hunter, “The 2012 free and open source GIS software map – A guide to facilitate research, development, and adoption”, Computers, Environment and Urban Systems, Elsevier, vol. 39, pp. 136–150, 2013.
- [7] F.N. CORREIA y et al., “Coupling GIS with Hydrologic and Hydraulic Flood Modelling”, Water Resources Management, Kluwer Academic Publishers, vol. 12, pp. 229–249, 1998.
- [8] A.A. Baky, A.M. Zaman y A.U. Khan, “Managing Flood Flows for Crop Production Risk Management with Hydraulic and GIS Modeling: Case study of Agricultural Areas in Shariatpur”, presentado en: ICESD 2012, Hong Kong, China, Enero 5–7, 2012, artículo publicado en APCBEE Procedia, vol. 1, pp. 318–324, 2012.
- [9] D. Isenegger, “IPODLAS–A software architecture for coupling temporal simulation systems, VR, and GIS”, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 60, pp. 34–47, 2005.
- [10] ZY. Mao y L, Li, “The strategies of integrating spatial data analysis and GIS”, Chinese geographical science, Science press, vol. 12, no. 3, pp. 233–237, 2002

[11] A. Carbonell y F. Martínez, “Combinación de modelos matemáticos y SIG para la gestión eficiente de redes”, en: III Congreso de ingeniería civil, territorio y medio ambiente, Zaragoza, España, octubre 25–27, 2006.

[12] B. Huang y B. Jiang, “AVTOP: a full integration of TOPMODEL into GIS”, *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, vol. 17, pp. 261–268, 2002.

Aranca (2012) *Lenguajes de programación para GIS. Mapping GIS*, <<<http://mappinggis.com/2012/11/lenguajes-de-programacion-gis/>>>

Araya, J.; Arcis, F.; Rojas, E.; Vera, D. (2008). *Plug-in Open Jump: Áreas de Incidencia*. Chile, pp. 16.

epm@institucional (2013) [última actualización 26-06-2013] <<<http://www.epm.com.co/site/Home/Institucional.aspx>>>

epm@aguas (2013) [última actualización 26-06-2013] <<<http://www.epm.com.co/site/Home/Institucional/Nuestrosservicios/Agua.aspx>>>

epm@portafolio (2013) [última actualización 26-06-2013] <<http://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/Portafolio%20de%20Servicios%202012%20VI>>

osgeo@grass (2013) [última actualización 01-08-2013] <<<http://grass.osgeo.org/>>>

gvSIG@inicio (2013) [última actualización 2009] <<<http://www.gvsig.com/>>>

gvSIG@productos (2013) [última actualización 2009] <<<http://www.gvsig.com/productos/gvsig-desktop>>>

Ingegraf@inicio (2013) [última actualización 2013] <<<http://www.ingegraf.es/E815897A-02E2-44E9-B60C-427BB79C43C0/FinalDownload/DownloadId-EA2E40D5F7D695BF8B336BE1CD815963/E815897A-02E2-44E9-B60C-427BB79C43C0/mesas/COMUNICACIONES%20ACEPTADAS/GIS10.pdf>>>

Opengis@index (2013) << http://www.opengis.es/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=46>>

Openjump@inicio (2013) [última actualización 2011] <<<http://openjump.org/>>>

Qgis@qgis (2013) [última actualización 2013] <<<http://www.qgis.org/>>>

Qgis@aplicaciones (2013) [última actualización 2013]
 <<<http://hub.qgis.org/projects/quantum-gis/wiki/>>>

Refractions@udig (2013) [última actualización 2013]
 <<<http://udig.refractions.net/>>>

Saga@index (2013) <<<http://www.saga-gis.org/en/index.html>>>.

Sextantegis (2013) [última actualización 2013], <<<http://www.sextantegis.com/>>>

Sourceforg (2013) [última actualización 2011], <<http://sourceforge.net/apps/mediawiki/jump-pilot/index.php?title=What_is_OpenJUMP>>

Wikipedia@Kosmo (2013) [última actualización 2011], <<<http://es.wikipedia.org/wiki/Kosmo>>>.

Wikipedia@GRASS (2013) [última actualización 2012],
 <<<http://grasswiki.osgeo.org/wiki/Applications>>>.

Wikipedia@UDig (2013) [última actualización 2012],
 <<<http://es.wikipedia.org/wiki/UDig>>>.

epa@learn-issues (2013) [última actualización 2013],
<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>

Python@Guide (2013)[[última actualización 2013],
<https://wiki.python.org/moin/BeginnersGuide>

Pizer@hydra (2009) [última actualización 2009],
<http://www.pizer.com/spanish.html>

MasterSoft@APyS (2011) [última actualización 2011], <http://www.master-soft.net/apys.htm>

MappingGIS@postgis(2013) [última actualización 2013]
<http://mappinggis.com/2013/02/como-importar-shapefiles-a-postgis/>

Termoplus@civilads (2013) [última actualización 2013],
<http://www.termoplus.mx/civilads.html>

AlconW@alconw (2012) [última actualización 2012],
<http://www.alconw.com/>

Bentley@sewercad (2014) [última actualización 2014],
<http://www.bentley.com/en-US/Products/SewerCAD/>

Bentley@sewergems (2014) [última actualización 2014],
<http://www.bentley.com/en-US/Products/SewerGEMS/>

PostGIS@postgis (2014) [última actualización 2014] <http://postgis.net/>

(Zetcode@psycopg2, 2012) [última actualización Enero 31 de 2012]
<http://zetcode.com/db/postgresqlpythontutorial/>

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Descripción la cobertura e impacto de EPM Aguas en la región.	5
Tabla 2 Software SIG libres más conocidos.	17
Tabla 3 Lenguajes de programación utilizados en SIG.....	22
Tabla 4 Software para simulación hidráulica	24
Tabla 5. Atributos elementos de alcantarillado	47
Tabla 6. Información para tablas de Base de datos.....	48
Tabla 7. Atributos que cambian con el resultado de la modelación	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema General de Sistema de Alcantarillado.....	39
Figura 2. Cámara de Inspección – cotas ó elevación utilizadas	43
Figura 3. Trazado alcantarillado en planta.....	44
Figura 4. Perfil alcantarillado	45
Figura 5. Proceso de integración	47
Figura 6. Esquema alcantarillado en el modelador hidráulico.....	50
Figura 7. Perfil de alcantarillado en el modelador hidráulico.....	51

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1 CÓDIGO DE CARGA DE DATOS AL INP
- ANEXO 2 ARCHIVO INP INICIAL
- ANEXO 3 CÓDIGO DE CARGA DE DATOS ACTUALIZADOS A LA
BASE DE DATOS
- ANEXO 4 ARCHIVO INP SALIDA
- ANEXO 5 MANUAL DE USUARIO
- ANEXO 6 ARCHIVOS SHAPE PARA PRUEBA

GLOSARIO SIG

API

Application Programming Interface. Una API es un conjunto de funciones y procedimientos (o métodos, en la programación orientada a objetos) que ofrece ciertas bibliotecas para ser utilizadas por otro software, como una capa de abstracción. Son usadas generalmente en las bibliotecas o librerías.

GEOMÁTICA

También conocida como tecnología geoespacial y de ingeniería geomática, es la disciplina de la recolección, almacenamiento, procesamiento y la entrega de información geográfica o referencias espaciales.

GIS

Geographic Information System o SIG. Sistema de Información Geográfica. Un SIG captura, almacena, analiza, gestiona y representa datos vinculados a una locación.

GML

Geography Markup Language. GML es el estándar XML de la OGC para representar información de elementos espaciales.

GNU

General Public License. Licencia Pública General o más conocida por su nombre en inglés GNU o simplemente sus siglas del inglés GNU GPL, es una licencia creada por la Free Software Foundation en 1989 (la primera versión), y está orientada principalmente a proteger la libre distribución, modificación y uso de software. Su propósito es declarar que el software cubierto por esta licencia es

software libre y protegerlo de intentos de apropiación que restrinjan esas libertades a los usuarios.

GPS

Global Positioning System, es un sistema basado en la navegación por satélite que proporciona información de ubicación y tiempo para cualquier lugar de la tierra donde hay visión de 4 o más satélites GPS. Es mantenido por el gobierno de los Estados Unidos y de libre acceso a cualquier persona con un receptor GPS. Un dispositivo de navegación GPS recibe señales de los satélites y las traduce en información de latitud, longitud y algunos de altitud.

GPX

GPS eXchange Format, es un formato de datos independiente utilizado para dispositivos de navegación GPS.

IDE

Infraestructura de Datos Espaciales. Integra datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico para promover su uso. Una IDE es el conjunto tecnologías, políticas, estándares y recursos humanos para adquirir, procesar, almacenar, distribuir y mejorar la utilización de la información geográfica.

LANDSAT

Serie de satélites de observación.

LGPL

Lesser General Public License. Es una licencia de software libre publicado por la Free Software Foundation (FSF). La LGPL permite a los desarrolladores y empresas utilizar software LGPL en su propio software, incluso si es de propietario, sin que se requiera liberar el código fuente de sus programas.

OGC

Open Geospatial Consortium. Fue creado en 1994 y agrupa organizaciones públicas y privadas. Las raíces del OGC se encuentran en la software open source GRASS y la subsiguiente fundación OGF (Open GIS Foundation) fundada en 1992. Su fin es la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de los Sistemas de Información Geográfica y de la World Wide Web. Persigue acuerdos entre las diferentes empresas del sector que posibiliten la interoperación de sus sistemas de geoprocésamiento y facilitar el intercambio de la información geográfica en beneficio de los usuarios.

Las especificaciones más importantes surgidas del OGC son:

- WMS-Web Map Service o Servicio de mapas en la web, que produce mapas en formato imagen a la demanda para ser visualizados por un navegador web o en un cliente simple. Es el protocolo más utilizado y extendido.
- WFS-Web Feature Service o Servicio de entidades vectoriales que proporciona la información relativa a la entidad almacenada en una capa vectorial (cobertura) que reúnen las características formuladas en la consulta. El acceso y edición de los datos se realiza a través de WFS-T
- WCS-Web Coverage Service. Se podría definir como el WFS para las imágenes. Permite realizar operaciones raster con nuestras imágenes a través de un estándar abierto. No se debe confundir con el WMS. Si se quiere publicar una imagen raster para su visualización se debe usar el WMS, pero si lo que se necesita es hacer algún tipo de procesamiento con imágenes o acceder a algún tipo de información de la misma, se aplica el WCS.
- WPS-Web Processing Service. Un WPS define una interfaz estandarizada que facilita la publicación de procesos geoespaciales, y la publicación y la unión de los procesos por los clientes

- CSW-Web Catalogue Service. Permite hacer búsquedas en un catálogo de metadatos y poder incorporar esta información en nuestro flujo de trabajo
- GML-Geography Markup Language (no confundir con Lenguaje de Marcado Generalizado, también GML). Es el formato estándar de intercambio de información geográfica.
- KML-Keyhole Markup Language es un lenguaje de marcado basado en XML para representar datos geográficos en tres dimensiones. Al publicar datos como KML los usuarios pueden usar Google Earth para visualizarlos, o que los desarrolladores hagan interesantes mashups.

OGR

Geospatial Data Abstraction Library (GDAL/OGR), es una librería para traducción de datos raster y vector, liberada bajo licencia de OSGeo.

OSGeo

Open Source Geospatial Foundation. Es una organización no gubernamental cuya misión es dar soporte y promover el desarrollo colaborativo de tecnologías geoespaciales y datos abiertos. Tiene entidad legal de fundación y fue constituida en febrero de 2006 para proporcionar apoyo financiero, legal y organizativo a toda la Comunidad geoespacial del software libre y el software de código abierto. También sirve, como entidad legal independiente a través de la cual sus miembros pueden realizar contribuciones de código, fondos u otros recursos con la seguridad de que ese conocimiento y el resto de contribuciones estarán disponibles para beneficio de todo el mundo.

RASTER

Método de visualización y almacenamiento de datos que hace uso de puntos individuales, cada uno de esos puntos contiene valores de atributos usados para el procesamiento de la imagen.

SHP

Shapefile es un formato de información geoespacial para un software SIG. Fue desarrollado por ESRI y es regulado por esta empresa como una especificación abierta para la interoperabilidad de datos entre software de ESRI y otros desarrolladores.

SQL

Structured query language. Es el medio estándar para la consulta de bases de datos relacionales.

SQL/MM

SQL Multimedia. Incluye varias secciones sobre tipos extendidos, incluyendo un apartado sobre importantes tipos espaciales.

VECTOR

Notación usada para representar información espacial. Es un modelo de datos en el que los elementos geográficos se representan como una serie de coordenadas X, Y o X, Y, Z.

XML

Extensible Markup Language, es un formato de archivo usado para crear formatos comunes de información y compartirlos en la web utilizando archivos de texto estándar. Es similar al HTML.

ANEXO 1

CÓDIGO DE CARGA DE DATOS AL INP

**Script que genera el archivo INP inicial para el modelador hidráulico, en
carpeta: \codigo_fuente\alcantarillado_in_inp0**

ANEXO 2

ARCHIVO INP INICIAL

**Archivo generado a partir de la información de la base de datos, en carpeta:
\\plantillas\inp\alcantarillado_in**

ANEXO 3

CÓDIGO DE CARGA DE DATOS ACTUALIZADOS A LA BASE DE DATOS

Script que envía nuevamente los datos actualizados a la base de datos, en carpeta: \codigo_fuente\alcantarillado_out_inp0

ANEXO 4

ARCHIVO INP SALIDA

**Es el archivo que se genera después de la modelación hidráulica, en carpeta:
\\plantillas\inp\alcantarillado_out**

ANEXO 5

MANUAL DE USUARIO

**Procedimiento para la ejecución de las herramientas de integración, en
carpeta: \documentacion**

MANUAL DE USUARIO

Se diseñó una herramienta que transfiera una información de campo de un sistema de alcantarillado en formato SHP a una base de datos, y que se pueda interpretar en un modelador hidráulico para manipulación y análisis del sistema. Posteriormente la información revisada de diseño se puede exportar nuevamente a la base de datos geográfica para poder ser visualizada en un sig.

A continuación se describe la forma de utilizar las herramientas.

1. Información de campo

Se parte de la premisa que la información de campo llega en formato SHP. Si esta no llega en este formato debe convertirse. Las tablas de atributos de este SHP tienen unos campos mínimos de características del elemento. En la siguiente figura se muestra esta tabla.

TABLA 1. Tabla de atributos del SHP Tramo.

ID_tramo	Nombre	Seccion	Diametro	Longitud	Material	N_Manning	Pendiente	C_batea_ini	C_batea_fin	Z1	Z2	Qdis	Qlleno	C_inicial	C_final
1	T1	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	162.26	C1	C2
2	T2	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	141.38	C2	C3
3	T3	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	113.47	C3	C4
4	T4	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	105.89	C4	C5
5	T5	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	69.67	C5	C6
6	T6	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	119.4	C6	C7
7	T7	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	164.68	C7	C8
8	T8	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	128.52	C8	C9
9	T9	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	66.57	C9	C10
10	T10	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	136.74	C11	C12
11	T11	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	87.45	C12	C13
12	T12	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	71.02	C13	C14
13	T13	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	75.5	C14	C15
14	T14	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	68.16	C15	C10
15	T15	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	160.19	C10	C16
16	T16	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	67.41	C16	C17
17	T17	CIRCULAR	227		PVC	0.009						1.5	81.53	C17	C18

TABLA 2. Tabla de atributos del SHP Cámara.

ID_camara	nombre	cota_tapa	Q_Base_Res	Cota_batea	Prof_max
1	C1	2139	1.5		
2	C2	2136.52			
3	C3	2134.21			
4	C4	2133.21			
5	C5	2133.34			
6	C6	2132.71			
7	C7	2131.6			
8	C8	2129.1			
9	C9	2126.8			
10	C10	2126.93			
11	C11	2129.85	1.5		
12	C12	2127.38			
13	C13	2126.5			
14	C14	2126.7			
15	C15	2126.7			
16	C16	2125			
17	C17	2125			

TABLA 3. Tabla de atributos del SHP Descarga.

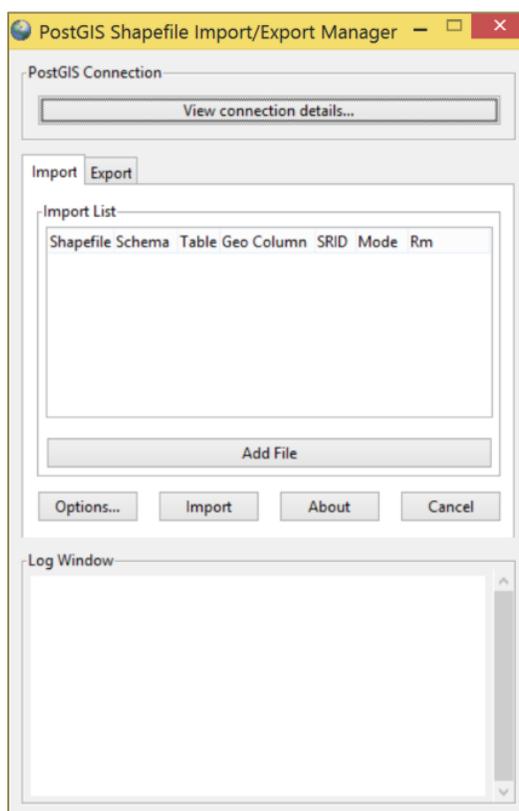
ID_descarga	nombre	cota_desc
1	C18	

2. Llenar la base de datos.

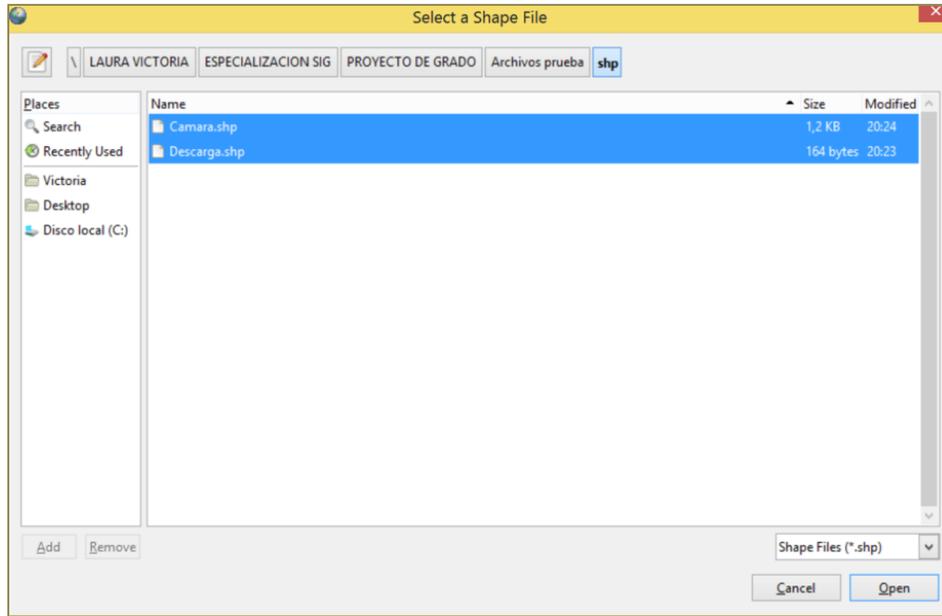
Los datos de topografía recibidos deben venir en formato SHP con la información de las cámaras y descargas. En caso de que vengan en una base de datos independiente, se deben convertir en SHP con alguna herramienta del SIG disponible. Para este caso en particular utilizaremos el Postgis Shapefile import/export manager, que es módulo propio del Postgres para importarlos a la base de datos de PostGIS.

Los archivos mínimos que deben venir de campo son: Cámara, Descarga y Tramo. Estos SHP se importan a la base de datos con el módulo Postgis Shapefile import/export manager de la siguiente manera:

Se abre la aplicación que viene como un módulo aparte en el paquete del Postgres. Se abre la siguiente ventana:

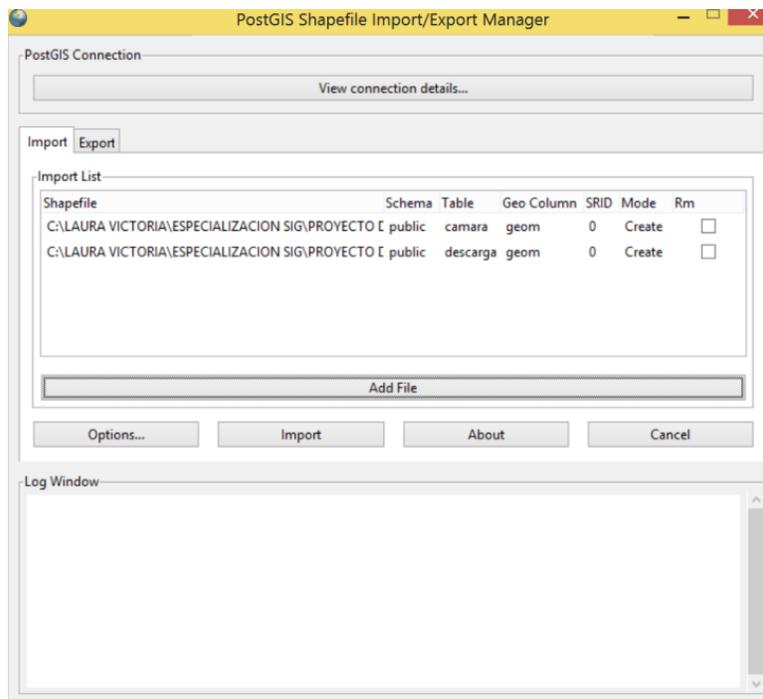


Se da clic en la opción *Add File* para iniciar con la carga de datos. Esta opción abre la siguiente ventana.

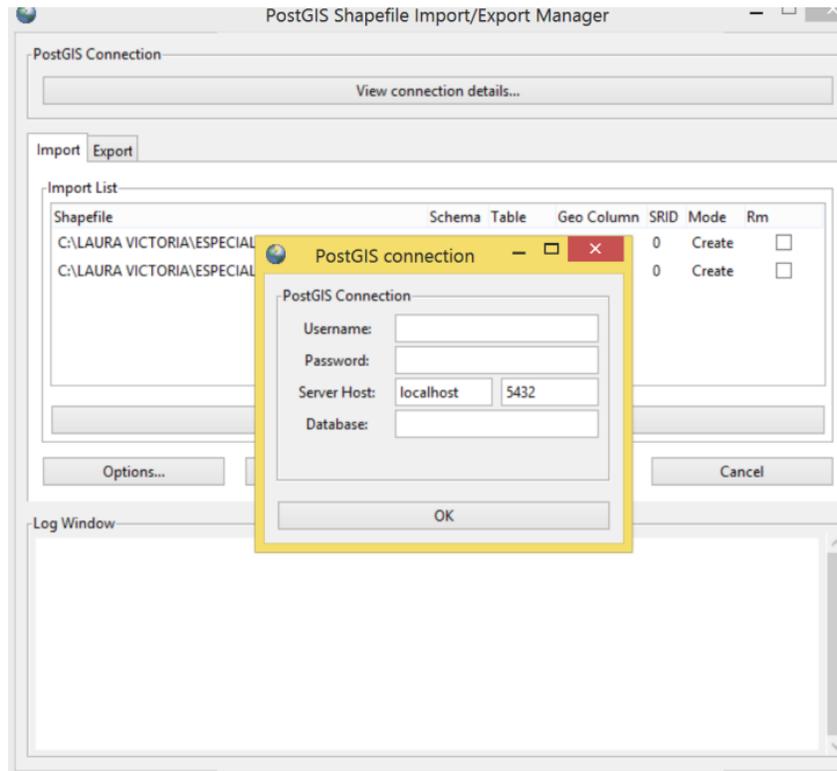


Dentro de las opciones de la izquierda se encuentra *Search*, la cual se usa para buscar los archivos deseados en una ubicación específica. Estos se visualizan en el panel principal de la ventana.

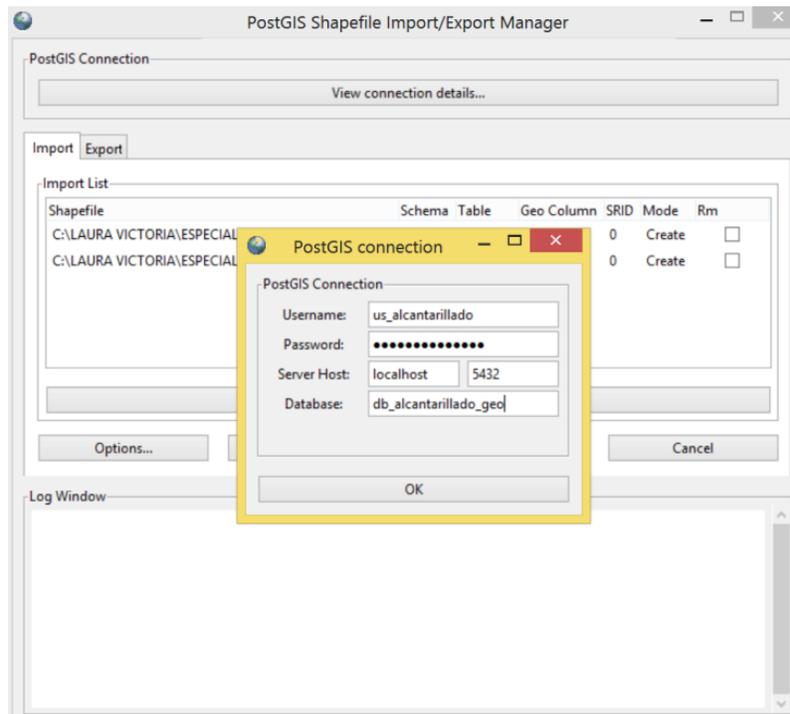
Se pueden elegir varios archivos simultáneamente, luego se da clic en la opción *Open*. Los archivos se cargan en la ventana principal como se ilustra en la siguiente figura.



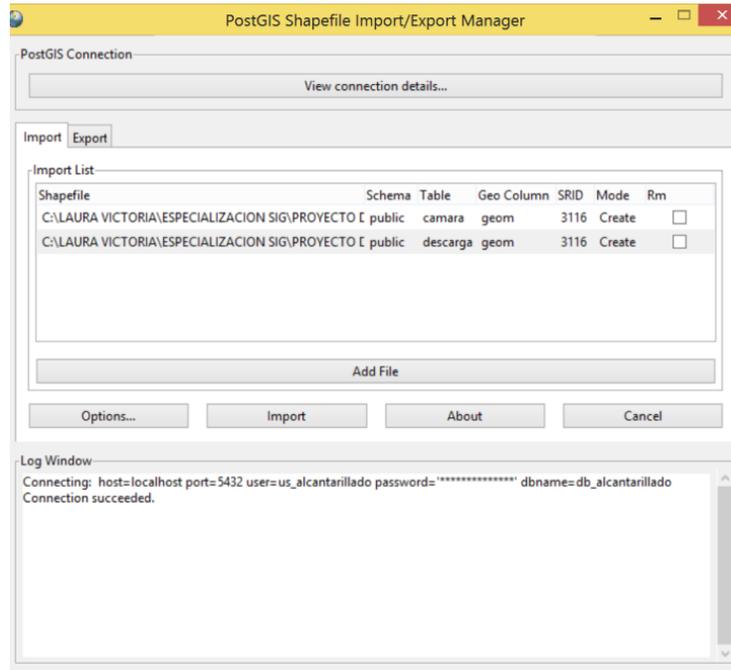
Luego se da clic en la opción *View connections details*, la cual abre el siguiente cuadro de diálogo.



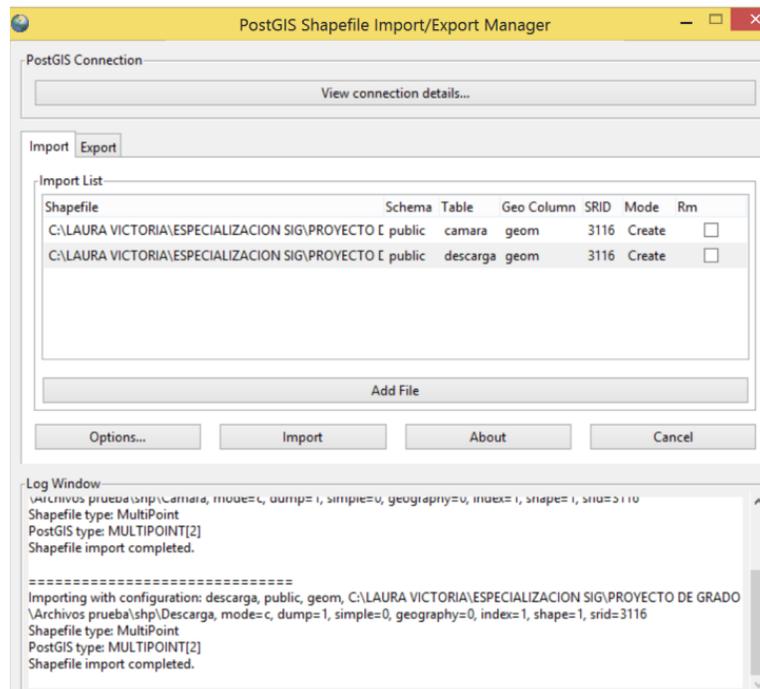
Se debe especificar la base de datos destino donde quedarán alojados los SHP.



En SRID (Spatial Reference System Identifier) se puso 3116 que es el de Magna Sirgas. Se procede a dar clic en *Import*.



El sistema nos confirma que la importación a la base de datos fue exitosa.

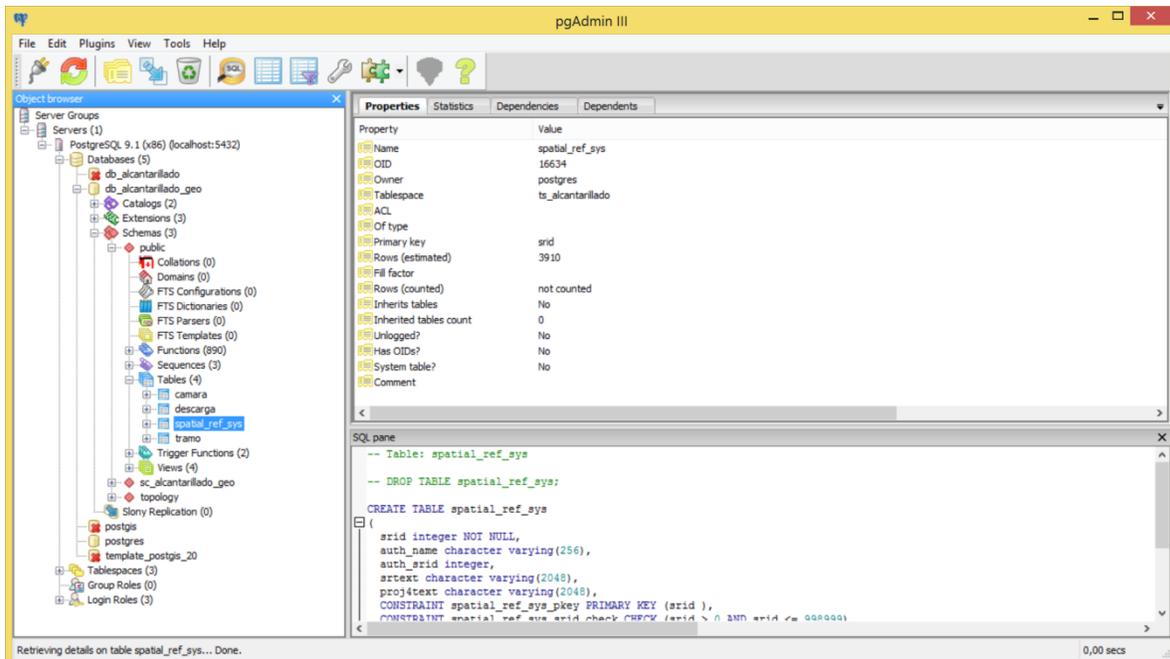


Los SHP cargados en la base de datos se visualizan como tablas en el esquema *Public*. Los campos de la tabla son los atributos que traía el SHP y adicional se muestra un campo donde está configurada la referencia geográfica del elemento.

Los campos pueden completarse con la información requerida según criterio del usuario. Debe tenerse en cuenta que para el siguiente paso se requiere una información base.

Para nuestro caso las tablas que se crearon tienen los campos que se mostraron en las tablas 1, 2 y 3; y adicionalmente el campo de geometría, que internamente contiene las coordenadas.

En las siguientes figuras se muestra el resultado en la base de datos.



gid [PK] serial	id_camara integer	nombre character var	cota_tapa numeric	q_base_res numeric	cota_batea numeric	prof_max numeric	gmrotation numeric	geom geometry(M)
1	1	C1	2139	1.5			0	01040000202
2	2	C2	2136.52				0	01040000202
3	3	C3	2134.21				0	01040000202
4	4	C4	2133.21				0	01040000202
5	5	C5	2133.34				0	01040000202
6	6	C6	2132.71				0	01040000202
7	7	C7	2131.6				0	01040000202
8	8	C8	2129.1				0	01040000202
9	9	C9	2126.8				0	01040000202
10	10	C10	2126.93				0	01040000202
11	11	C11	2129.85	1.5			0	01040000202
12	12	C12	2127.38				0	01040000202
13	13	C13	2126.5				0	01040000202
14	14	C14	2126.7				0	01040000202
15	15	C15	2126.7				0	01040000202
16	16	C16	2125				0	01040000202
17	17	C17	2125				0	01040000202
*								

3. Generación de archivo INP

Una vez poblada la base de datos, la información de esta se pasa a un archivo en formato INP. Un INP es un archivo de un texto plano, que puede leerse con un bloc de notas y es el que interpreta el programa EPASWMM para ejecutarlo.

Este archivo INP se crea a través de un script escrito en lenguaje Python en su versión 2.7. El cual genera las líneas del archivo con la información de la base de datos. El código de creación de este archivo se muestra en el ANEXO 1, Código de carga de datos al INP.

La información que se ingresa es:

a) En los campos JUNCTIONS se ingresa la información de las cámaras. Por lo tanto de la tabla cámara se importan los campos:

- Nombre de las cámaras
- Coordenadas
- Profundidad máxima, la cual puede ingresar como un dato teórico y luego ser modificado en el diseño.

- Cota invert. Sabemos que la cota que se toma en topografía es la tapa o terreno. Para introducir la cota invert restamos el campo Profundidad máxima del campo cota terreno, y ubicamos la respuesta en la cota invert. Esto se hace automáticamente en el script.

b) En los campos OUTFALLS se ingresa la información de las descargas. Por lo tanto de la tabla descarga se importan los campos:

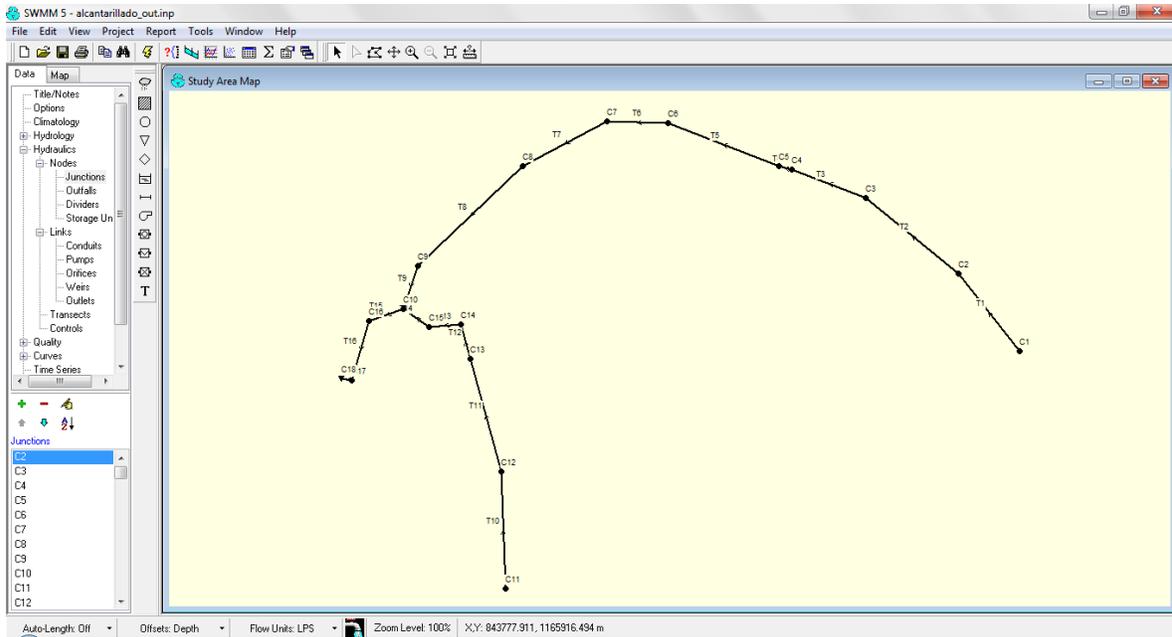
- Nombre de la descarga
- Cota_desc: cota o elevación de la descarga

c) En los campos CONDUITS se ingresa la información de los tramos. Por lo tanto de la tabla tramos se importan los campos:

- nombre: identificación de los tramos
- camara_inicial: identificación de la cámara inicial del tramo
- camara_final: identificación de la cámara final del tramo
- longitud
- n_manning: es el coeficiente de rugosidad depende del material a usar

El archivo resultante puede abrirse directamente con el modelador hidráulico.

Ya abierto el archivo en EPASWMM, el usuario procederá a ingresar la información faltante, hará las corridas necesarias y cambiará los datos de entrada y parámetros hidráulicos que considere para modificar el diseño hasta lograr una modelación de un sistema de alcantarillado de funcionamiento óptimo.



4. Carga de información actualizada a la base de datos

Una vez salvado este archivo desde el modelador, el archivo INP que habíamos creado en el paso anterior se sobrescribe, y los datos de diseño finales, pueden ser cargados nuevamente a la base de datos en las tablas marcadas como out. La información de cada campo se actualiza con la información final de diseño por medio de un segundo script, también en Python. Este código puede visualizarse en el ANEXO 3, Código de carga de datos actualizados a la base de datos. La función de este script es leer línea por línea el archivo de texto y donde reconozca el parámetro de interés, este lo lee y lo ingresa a la tabla correspondiente de la base de datos.

Equivalencias entre el modelador y la base de datos

EPASWMM (archivo INP)	BASE DE DATOS (Tablas modeladas en PostGIS)
JUNCTIONS	cámara

OUTFALLS	descarga
CONDUITS	tramo
XSECTIONS	Geometría del tramo, este dato es un campo en la tabla tramo.
DWF	Entradas al sistema, puede ser un caudal o una carga contaminante, en nuestro caso se ingresa el caudal residual, que está como campo en la tabla cámara.

NOTA: al ejecutar los códigos tener presente el cambio de rutas de los archivos a las locales.